



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HENRI NIEMI
EROTTIMIEN JA EROTINAUTOMAATION ELINKAAREN HALLIN-
TA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
30. marraskuuta 2017

TIIVISTELMÄ

HENRI NIEMI: Erottimien ja erotinautomaation elinkaaren hallinta

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 81 sivua, 0 liitesivua

Tammikuu 2018

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pekka Verho

Avainsanat: erotin, erotinasema, kunnossapito, kauko-ohjaus, jakeluverkko

Sähkönjakeluverkko on suuri ja moniportainen järjestelmä, jolta vaaditaan korkeaa luotettavuutta kustannustehokkaasti samalla, kun järjestelmän turvallisuus ei saa vaarantua. Elenialla on investoitu voimakkaasti keskijänniteverkon automaatioon ja tehty strateginen päätös rakentaa kaikki uusi ja saneerattava keski- ja pienjänniteverkko maakaapelioimalla. Molemmat näistä keinoista lisäävät huomattavasti verkon erottimien lukumäärää ja korostavat niiden roolia, jonka seurauksena myös niiden kunnossapidolle asetetut vaatimukset korostuvat.

Elenialla käytännössä kaikki keskijänniteverkon erottimet ovat kuormanerotimia. Täten niillä on tärkeä rooli keskeytyksen kokeneiden asiakkaiden keskeytysajan pienentämisessä. Elenialla erottimia on sekä ilmajohtoverkossa pylväserottimina että rakenteella suojattuja erottimia maakaapeliverkossa. Kokonaisuudessaan erottimia on noin 55000 kappaletta.

Työtä varten tutkittiin saatavissa olevaa tietoa erottimille tehdystä kunnossapidosta. Tutkittavasta aineistosta selvisi kattavaa tietoa muun muassa ikääntymisen ja ohjauskerrojen tuoman kulumisen vaikutuksista erottimien toimintaan. Lisäksi pystyttiin löytämään eroja eri laitetyyppien välillä. Työn tuloksena saatiin tehtyä täsmennyksiä erottimiin kohdistuvaan ennakoivaan kunnossapitoon. Täsmennyksillä pyritään vähentämään erottimien vikaantumisia ja siten pienentämään kustannuksia ja lyhentämään asiakkaiden kokemaa keskeytyksiä. Jatkossa työn pohjalta tullaan tekemään kattavat toimintaohjeet niin tarveperusteiseen kuin ennakoivaankin kunnossapitoon. Lisäksi tullaan tarkastelemaan kannattaisiko ainakin joidenkin erotinasemien akustot korvata paremmilla.

ABSTRACT

HENRI NIEMI: Life cycle management of disconnectors and disconnector automation

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 81 pages, 0 Appendix pages

January 2018

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Power Systems and Market

Examiner: Professor Pekka Verho

Keywords: disconnector, disconnector station, maintenance, remote control, distribution network

The electricity distribution network is a large and multi-tiered system requiring high reliability in a cost-effective manner, while system security must not be compromised. Elenia has invested heavily in the automation of medium voltage network and has made a strategic decision to build all new and renewed medium and low voltage grids with ground cable. Both methods greatly increase the number of network disconnectors and emphasize their role, which also highlights the requirements for their respectability.

In the grid of Elenia virtually all medium voltage disconnectors are load disconnectors. This means that they play an important role in limiting the time of interruption of the customers, that experience the interruption. Elenia's disconnectors are available as pole disconnectors in the overhead line network, and the structure protected in underground cable network. Altogether, there are approximately 53,000 disconnectors, of which there are about 5600 remotely controlled, and the remaining 47600 are manual-controlled.

For this thesis, available information of maintenance of disconnectors was analyzed. From the material explored, comprehensive information on the effects of wear and ageing of disconnectors was found. In addition, differences were found between different types of disconnectors. As a result of the thesis, some parts of predictive maintenance could be made more detailed. These changes are intended to have less failures with disconnectors and by doing that, make costs smaller and interruptions shorter. In the future based on the thesis will be done a comprehensive operating instruction for both corrective and predictive maintenance. In addition, it would be worth considering whether the batteries of at least some of the disconnector stations should be replaced with better ones.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Elenia Oy:lle, ja sen tekeminen aloitettiin kesäkuussa 2017. Työn aihe oli kiinnostava, sillä se tarjosi sopivasti linkkiä aiempaan työkokemukseeni, mutta myös mahdollisuuden oppia runsaasti uutta. Aiheen mielenkiintoisuus ylläpiti motivaatiota koko tutkimus- ja kirjoitusprosessin ajan.

Haluan kiittää työni ohjaajana Elenialta toiminutta Pauliina Salovaaraa sekä tarkastajana Tampereen teknilliseltä yliopistolta toiminutta Pekka Verhoa ohjauksesta, kommenteista ja lukuisista neuvoista työtä tehdessä. Lisäksi haluan kiittää perhettäni kannustuksesta ja tuesta koko opiskelujeni aikana.

Tampereella, 22.1.2018

Henri Niemi

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | JOHDANTO..... | 1 |
| 2. | SÄHKÖVERKOT JA VERKKOLIIKETOIMINTA | 3 |
| 2.1 | Sähkönjakeluverkon rakenne ja kehittäminen | 3 |
| 2.1.1 | Pienjänniteverkot | 4 |
| 2.1.2 | Keskijänniteverkot ja jakelumuuntamot..... | 4 |
| 2.1.3 | Sähköasemat ja alueverkot | 6 |
| 2.1.4 | Jakeluverkkojen kehittäminen..... | 8 |
| 2.2 | Toimitusvarmuus | 9 |
| 2.3 | Sähköverkkoliiketoiminta | 11 |
| 2.3.1 | Suomen sähkömarkkinat | 12 |
| 2.3.2 | Lainsäädäntö ja valvonta | 13 |
| 2.4 | Elenia Oy..... | 19 |
| 3. | KUNNOSSAPITO..... | 21 |
| 3.1 | Kunnossapidon lajit | 21 |
| 3.1.1 | Korjaava kunnossapito | 22 |
| 3.1.2 | Ehkäisevä ja ennakoiva kunnossapito | 22 |
| 3.1.3 | Parantava kunnossapito | 25 |
| 3.2 | Kunnossapito sähköverkkoliiketoiminnassa | 25 |
| 4. | KESKIJÄNNITEVERKON EROTTIMET JA AUTOMAATIO | 29 |
| 4.1 | Erottimien rakenne ja toiminta..... | 29 |
| 4.2 | Erottimien vikaantuminen | 32 |
| 4.3 | Erottimien kunnossapito..... | 36 |
| 4.4 | Elenian laitekanta..... | 38 |
| 4.5 | Kunnossapito Elenialla tähän saakka | 42 |
| 5. | VIKA- JA KUNNOSSAPITOTIETOJEN ANALYSOINTI..... | 45 |
| 5.1 | Tarveperusteinen kunnossapito..... | 45 |
| 5.1.1 | Vikatyöt | 46 |
| 5.1.2 | Kunnossapitotyöt | 51 |
| 5.2 | Ennakoiva kunnossapito..... | 56 |
| 5.2.1 | Erothinuollot | 56 |
| 5.2.2 | Erotinasemien akustojen vaihdot | 59 |
| 5.3 | Verkkotietojärjestelmään dokumentoidut kunnossapitotyöt..... | 60 |
| 5.4 | Vikatietojen yhteenveto..... | 64 |
| 6. | KESKIJÄNNITEVERKON EROTTIMIEN KUNNOSSAPITO-OHJELMAN PÄIVITYS | 71 |
| 6.1 | Laitteista saatava data | 71 |
| 6.2 | Tarkastukset | 73 |
| 6.3 | Korjaava kunnossapito | 74 |
| 6.4 | Taloudellinen tarkastelu | 75 |

| | | |
|-----|------------------------|----|
| 6.5 | Jatkokehitettävää..... | 77 |
| 7. | YHTEENVETO | 79 |
| | LÄHTEET | 80 |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAIDI | keskeytysten keskipituus tietyllä aikavälillä (<i>Customer Average Interruption Duration Index</i>) |
| CBM | kuntoperusteinen kunnossapito (<i>condition based maintenance</i>) |
| h_{AJK} | keskeytyksestä aiheutuvan haitan yksikköhinta aikajälleenkytkennälle |
| $h_{E,odott}$ | keskeytyksestä aiheutuvan haitan yksikköhinta energialle odottamattomalla keskeytyksellä |
| $h_{E,suunn}$ | keskeytyksestä aiheutuvan haitan yksikköhinta energialle suunnitellulla keskeytyksellä |
| h_{PJK} | keskeytyksestä aiheutuvan haitan yksikköhinta pikajälleenkytkennälle |
| $h_{W,odott}$ | keskeytyksestä aiheutuvan haitan yksikköhinta teholle odottamattomalla keskeytyksellä |
| $h_{W,suunn}$ | keskeytyksestä aiheutuvan haitan yksikköhinta teholle suunnitellulla keskeytyksellä |
| KAH | keskeytyksestä aiheutuva haitta |
| MAIFI | jälleenkytkentöjen keskimääräinen lukumäärä tietyllä aikavälillä (<i>Momentary Average Interruption Frequency Index</i>) |
| RMU | ala-asema (<i>Ring main unit</i>) |
| SAIDI | keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kesto aika tietyllä aikavälillä (<i>System Average Interruption Duration Index</i>) |
| SAIFI | keskeytysten keskimääräinen lukumäärä tietyllä aikavälillä (<i>System Average Interruption Frequency Index</i>) |
| SF ₆ | rikkiheksafluoridi |
| TBM | aikaperusteinen kunnossapito (<i>time based maintenance</i>) |

1. JOHDANTO

Toimivan sähköjakelun merkitys Suomessa on korostunut. Sähköverkkoyhtiöt ovat valinneet erilaisia strategioita toimitusvarmuusvaatimuksiin pääsemiseksi. Elenialla toimitusvarmuuden eteen on tehty töitä pitkään. Verkkoon on asennettu suuri määrä automaatiota ja kauko-ohjattavia kytkinlaitteita. Lisäksi kaikki rakennettava jakeluverkko rakennetaan maakaapelioimalla. Nämä molemmat keinot lisäävät verkon kytkinlaitteiden ja erityisesti erottimien määrää. Ilmajohtoverkkoon on asennettu suuri määrä erottimia, jotta ilmajohtoverkossa esiintyvien vikojen vaikutusalueita saataisiin vikojen esiintyessä pienennettyä. Lisäksi maakaapeliverkkoa rakennettaessa suurelle osalle puistomuuntamoista asennetaan erottimia, joilla voidaan muuttaa verkon kytkentätilannetta esimerkiksi kaapelivian sattuessa tai verkon rakennusta tai kunnossapitoa tehtäessä.

Erottimien lukumäärän ja roolin kasvaessa kasvavat myös niiden kunnossapidolle asetettavat vaatimukset. Erottimet vaativat kunnossapitoa, jotta ne eivät jumiudu ja jotta niiden sähköiset apujärjestelmät toimivat ja mahdollistavat niiden ohjauksen valvomosta käsin. Elenialla erottimille ja niiden automaatiolle käytössä ollut kunnossapito-ohjelma ei ole ollut kovin tarkka. Kunnossapito on aiemminkin ollut ennakkointiin perustuvaa, joskin ennakkointi on perustunut keskimääräisyyksiin ja kokemuksiin. Tarkka ohjelman suunnittelu tutkimustiedon perusteella on kuitenkin toistaiseksi puuttunut. Lisäksi iso osa kunnossapidosta on ollut reagoivaa. Työn tavoitteena on parantaa erottimien ja erotinautomaation taloudellista kannattavuutta ja optimoida niiden kunnossapitoprosessia. Tähän pyritään kehittämällä keskijänniteverkon erottimien ja niiden automaation kunnossapitoa. Tarkoituksena on saada muutettua erottimien kunnossapitoa selkeästi ennakoivaan suuntaan, jotta niiden vikaantumisista aiheutuvaa haittaa saataisiin pienennettyä ja toisaalta saataisiin myös kunnossapitoa taloudellisesti tehokkaammaksi.

Tämän työn aluksi toisessa pääluvussa perehdytään sähköverkkoihin ja verkkoliiketoimintaan Suomessa, jotta saadaan kattava käsitys liiketoimintaympäristöstä, jossa työn parissa toimitaan. Tämä tehdään kirjallisuuskatsauksena. Työn kolmannessa luvussa kirjallisuuskatsausta jatketaan ja perehdytään kunnossapidon teoriaan. Tämän tarkoituksena on, että kunnossapito-ohjelman luomiselle on mahdollisimman vahvat perusteet. Luvussa käsitellään perustietoa kunnossapidosta, eri kunnossapitolajeja sekä kunnossapitoa erityisesti sähköverkkoliiketoiminnassa. Työn neljäs pääluku sisältää tutustumisen keskijänniteverkon erottimiin ja niiden automaatioon. Osa luvusta toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, mutta luvun lopussa käydään myös läpi Elenian keskijänniteverkon erottimien laitekanta sekä toistaiseksi käytössä ollut erottimien kunnossapitoprosessi. Työn viidennessä luvussa tutkitaan ja analysoidaan erottimien kunnossapidosta ja vikaantumisista kerättyä dataa. Kuudennessa luvussa hyödynnetään aikaisempien lukujen

tietoja ja muodostetaan erottimille ja niiden automaatiolle uusi kunnossapito-ohjelma. Luvussa luodaan periaatteet ja suuntaviivat, joiden mukaisesti kunnossapitoa lähdetään työn valmistumisen jälkeen toteuttamaan.

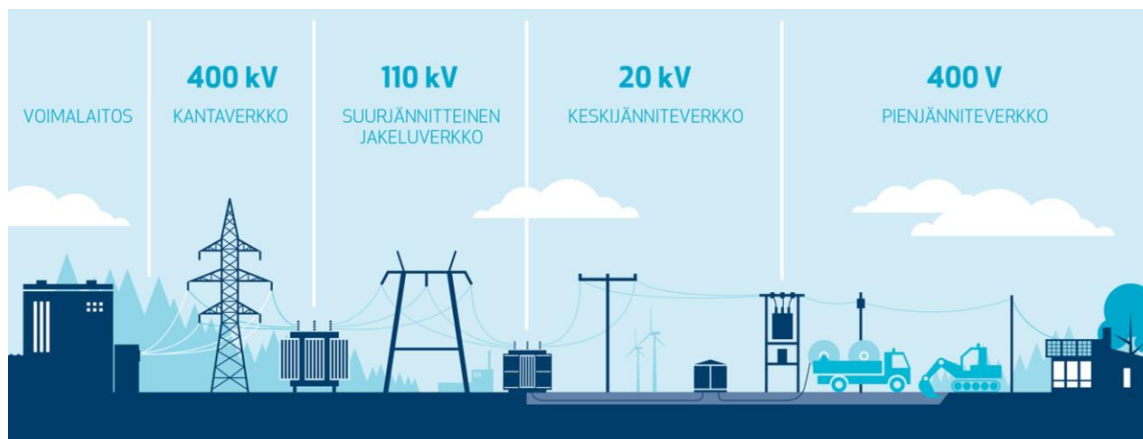
Työssä tärkeintä antia on tutkimus, jossa suoritetaan varsinainen erottimien vikaantumisdataan perehtyminen sekä sen pohjalta tehtävä kunnossapito-ohjelman päivitys. Työn tavoitteena on saada rakennettua kunnossapito-ohjelma sellaiseksi, että työn valmistumisen jälkeen se voidaan ottaa käyttöön erottimien kunnossapidossa. Luonnollisesti ohjelma vaatii kehitystä myös työn valmistuttua, kun saadaan käytännön kokemusta ohjelman toiminnasta. Työssä ei keskitytä erottimien kunnossapidossa käytettäviin työmenetelmiin tai tehdä uusia palvelusopimuksia kunnossapitoon liittyen. Reunaehtoina toimivat nykyiset urakoitsijakumppaneiden kanssa tehdyt palvelusopimukset, joiden asettamissa rajoissa pyritään helpottamaan kunnossapidon suunnittelua ja parantamaan sen ennakoivuutta.

2. SÄHKÖVERKOT JA VERKKOLIIKETOIMINTA

Suomessa sähköverkkoja hallinnoivien sähköverkkoyhtiöiden liiketoiminta on tarkasti säänneltyä. Sähköverkoksi kutsutaan järjestelmää, jossa voimalaitoksissa tuotettu sähköenergia saadaan jaeltua sitä kuluttaville asiakkaille. Sähköverkot ovat merkittävä osa yhteiskunnan infrastruktuuria, sillä riippuvuus sähköstä on kasvanut huomattavaksi. Sähkönjakelulta vaaditaan ja oletetaan korkeampaa luotettavuutta, kun taas hinta ei saisi kohota liian korkeaksi. Lisäksi sähkönjakelun laatuvaatimukset ovat nousseet. Sähköverkkoon kytketään yhä monimutkaisempia laitteita, jotka ovat aiempaa herkempiä esimerkiksi jälleenkytkennöille ja jännitteen vaihtelulle. Verkossa on myös nykyään paljon laitteita, jotka aiheuttavat verkkoon muun muassa harmonisia yliaaltoja. Selvää on, että verkkoyhtiöiltä on vaadittu ja vaaditaan jatkuvaa toimintansa kehittämistä.

2.1 Sähkönjakeluverkon rakenne ja kehittäminen

Sähkönjakeluverkko muodostuu alueverkosta, sähköasemista, keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista ja pienjänniteverkosta. Periaatekuva sähköverkosta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Sähköverkon rakenne [1].

Kuvassa näkyy jakeluverkkoon kuuluvien pien- ja keskijänniteverkon sekä suurjännitteisen jakeluverkon lisäksi myös jakeluverkkoon kuulumattomat kantaverkko ja voimalaitos. Kokonaisuudessaan verkko on laaja kokonaisuus, joka koostuu valtavasta määrästä erilaisia komponentteja ja jonka jälleenhankinta-arvo on valtava, Suomen sähköverkon osalta jopa 12 mrd. €. [2, s.11] Sähkönjakeluverkko kattaa Suomen lähes kokonaan, syrjäisimpiä asumattomia alueita lukuun ottamatta. Vaikka uuden verkon rakentaminen onkin hidastunut Suomen sähköistyksen valmistuttua, investoidaan jakeluverk-

koihin silti huomattavia summia rahaa vuosittain, sillä sähköverkot lähestyvät monilta osin käyttöikänsä päätä.

2.1.1 Pienjänniteverkot

Suurin osa asiakkaista on liittynyt jakeluverkon kaukaisimpaan portaaseen, pienjänniteverkkoon. Pienjänniteverkossa jännitetaso on 0,4 kV ja se mahdollistaa joidenkin kymmenien tai satojen kilowattien tehon siirtämisen joitakin satoja metrejä. Pienjänniteverkon johtopituudet saattavat kuitenkin joissakin tapauksissa olla hieman tätä pidempiä haja-asutusalueilla, kun siirrettävät tehot ovat pieniä. Pienjänniteverkot rakennetaan käytännössä aina säteittäiseksi verkoksi. [2, s. 11–13] Pienjänniteverkkojen kuormitus tiheydet neliökilometriä kohden vaihtelevat suuresti ympäristön mukaan ollen kaupungeissa jopa megawatteja ja haja-asutusalueilla enintään kymmeniä kilowatteja. [2, s. 158–159]

Pienjänniteverkot ovat yleensä maadoitettuja järjestelmiä, joiden kuormina toimivat pienjännitekulutuskojeistot. Ylikuormitus- ja vikavirtasuojaus hoidetaan pienjänniteverkon osalta jakelumuuntamoista käsin suojaamalla jokainen lähtö omilla varokkeillaan. Kunkin lähdön jokaiselle vaiheelle tulee oma varoke. Sulakkeet tulee mitoittaa kestämään kuormitusvirta, mutta silti toimimaan riittävän nopeasti vikatilanteissa. Mitoitus tulee tehdä yksivaiheisen johdon loppupäässä esiintyvän oikosulun mukaan, sillä silloin vikavirta on pienimmillään. Mikäli tällainen mitoitus ei ole mahdollista, joudutaan lähdölle asentamaan välivaroke tai vaihtamaan johdin poikkipinnaltaan suurempaan. Pienjänniteverkon viat eivät yleensä aiheuta sähkönjakelun keskeytystä kovinkaan laajalle alueelle, mutta suurhäiriötilanteissa ne voivat olla asiakkaan kannalta harmillisia, sillä silloin verkkoyhtiöt kohdistavat resurssinsa ensin keskijänniteverkon vikojen korjaamiseen. [2, s. 157–163]

Taajamissa pienjänniteverkot rakennetaan tyypillisesti maakaapelioimalla, maaseudulla on perinteisesti rakennettu ilmajohtoverkkoa riippukierrekaapelilla, aiemmin myös avojohdolla. Myös maaseuduilla maakaapelointi on kuitenkin yleistynyt viime aikoina erityisesti tapauksissa, joissa kaapelin asennus on mahdollista tehdä auraamalla. Maakaapelin käyttäminen mahdollistaa pienemmät verkon elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset. Ilmajohtoverkossa asiakasliittymät haaroitetaan suoraan runkojohdosta, kun taas maakaapeliverkossa haaroitukseen vaaditaan joko jako- tai haaroituskaappi. [2, s. 160–161]

2.1.2 Keskijänniteverkot ja jakelumuuntamot

Jakelumuuntamot toimivat pien- ja keskijänniteverkkojen välissä. Jakelumuuntamoissa keskijänniteverkon jännite, Suomessa suuruudeltaan useimmiten 20 kV, muunnetaan pienjänniteverkkoon sopivalle jännitetasolle, Suomessa yleensä 0,4 kV:ksi. Maaseudulla ilmajohtoverkossa jakelumuuntamot ovat monesti pylväsmuuntamoita, joiden nimel-

listehot ovat tyypillisesti 50 ja 100 kVA, maksimissaan 315 kVA. Maaseudullakin tosin rakennetaan yhä useammin puistomuuntamoita, kun ilmajohtoverkkoa saneerataan maakaapeliverkoksi. Taajamissa muuntajat ovat monesti rakenteella suojattuja puistomuuntamoita tai mikäli tilaa on erittäin vähän, esimerkiksi kerrostalojen kellareissa sijaitsevia kiinteistömuuntamoita. Ne ovat nimellisteholtaan monesti pylväsmuuntamoita suurempia, yleensä noin 1000 kVA. Kaapeloidussa taajamaverkossa jakelumuuntamot ovat usein osana keskijännitekaapelirengasta ja lähdöt onkin usein varustettu joko katkaisijoilla tai tehoerottimilla. Puisto ja kiinteistömuuntamoilla keskijännitekojeisto voi olla ilmaeristeisen sijaan myös SF₆-eristeinen (rikkiheksafluoridi). Jakelumuuntamoita rakennetaan, kun vanhaa verkkoa saneerataan tai uusia alueita sähköistetään. Muuntamon rakentamiskustannukset riippuvat voimakkaasti muuntamotyypistä. Nimellistehon kasvattaminen kasvattaa muuntamon hintaa. [2, s. 157–158]

Jakelumuuntamot ovat kytkettynä keskijänniteverkkoon. Myös osa asiakkaista on liittynyt suoraan keskijänniteverkkoon, joten keskijänniteverkon kuormina toimivat jakelumuuntamot ja keskijänniteasiakkaat. Keskijänniteverkon jännitetaso on Suomessa yleisimmin 20 kV, joskin muitakin jännitetasoja esiintyy. Joissakin kaupungeissa on esimerkiksi edelleen käytössä hieman 10 kV keskijänniteverkkoa. 20 kV jännitetaso mahdollistaa muutamien megawattien tehon siirtämisen noin 20–30 km matkan. Keskijänniteverkkoja rakennetaan sekä säteittäisenä että silmukoituna verkkona. Taajamissa, joissa verkko palvelee suurta asiakasmäärää, rakennetaan verkot yleensä silmukoiduksi, sillä siellä silmukoidun verkon säteittäistä verkkoa pienemmät keskeytyskustannukset kattavat korkeammat rakentamiskustannukset. Haja-asutusalueilla taas rakennetaan verkkoa jonkin verran säteittäiseksi, sillä siellä keskeytyskustannukset eivät säteittäisessä verkkossa pääse kasvamaan niin suuriksi, että olisi kannattavaa rakentaa rengassyhteyksiä. [2, s. 11–13]

Maakaapeliverkkoa rakennetaan hyvin paljon silmukoiduksi, sillä kaapeliverkon korjaaminen on yleensä hitaampaa kuin ilmajohtoverkon. Vaikka keskijänniteverkko olisikin rakennettu silmukoiduksi, käytetään sitä yleensä aina säteittäisenä. Rengassyötön käyttö mahdollistaisi pienemmän jännitteenaleneman ja siirtohäviöt, mutta säteittäisessä verkossa on helpompaa rajoittaa häiriöitä, suojaus ja jännitteensäätö ovat yksinkertaisempia ja oikosulkuvirrat ovat pienempiä. Jakorajat verkkoon saadaan aikaiseksi erottimilla. Ne voivat olla joko manuaalisesti ohjattavia, jolloin ohjaus tapahtuu maastossa erottimen luona asentajan toimesta, tai kauko-ohjattavia, jolloin käytönvalvoja pystyy ohjaamaan niitä valvomosta käsin etäyhteydellä. [2, s. 11–13]

Keskijänniteverkot ovat yleensä maasta erotettuja tai sammutuskuristimen kautta sammutettuja. Niiden suojana toimivat sähköasemilla sijaitsevat katkaisijat, joihin on liitetty ylivirta-, maasulku- ja jälleenkytkentäreleet. Ylivirtareleet suojaavat verkkoa oikosuluilta, mutta varsinaista ylikuormitussuojausta ei keskijänniteverkoissa ole. Lisäksi johdoilla voi olla sähköasemien ulkopuolella väli- tai verkkokatkaisijoita. Käyttövarmuuteen keskijänniteverkoilla on hyvin suuri merkitys, sillä yksittäisellä keskijänniteverkon vial-

la on yleensä laajat vaikutukset. Keskijänniteverkon viat aiheuttavatkin jopa yli 90 % keskeytyksistä, joita sähkönkäyttäjät kokevat. [2, s.125–126]

Keskijänniteverkkoa ei voida kehittää pienjänniteverkon tavoin yksittäisinä paikallisina toimenpiteinä, sillä keskijänniteverkko muodostaa yhdessä 110 kV johtojen ja sähköasemien kanssa yhtenäisen kokonaisuuden. Pahoissa 110 kV johtojen tai sähköasemien vioissa keskijänniteverkkoa voidaan jopa hieman käyttää varayhteyksinä vikatilanteen rajaamiseen pienemmälle alueelle. Tästä johtuen verkkoa ei myöskään ole mahdollista rakentaa valmiiksi kerralla, vaan verkon kehittäminen on pitkä jatkuva prosessi, jota tehdään hiljalleen pienempiä kokonaisuuksia kerrallaan. Maaseuduilla on perinteisesti päädytty avojohtorakenteeseen keskijänniteverkkoa rakennettaessa ja maakaapeliin taa- jamissa. Pienjänniteverkon tavoin myös keskijänniteverkon rakentaminen maakaape- loimalla on yleistymässä maaseudulla. [2, s.125–126]

2.1.3 Sähköasemat ja alueverkot

Sähköasemilla muunnetaan alue- tai kantaverkon korkeampi jännite, yleensä 110 kV keskijänniteverkkoon sopivaksi, yleensä 20 kV:ksi. [3, s. 76] Sähkönjakeluverkossa sähköasemat ovat merkittävimpiä komponentteja määrittäen koollaan ja sijainnillaan keskijänniterunkojohtojen pituuksia, mitoituksia ja varayhteyksiä. Sähköasemilla sijait- see suurin osa jakeluverkon automaatiosta ja asemien komponenteilta vaaditaan kaikista verkon komponenteista korkeinta luotettavuutta. Uusia asemia rakennetaan yleensä säh- könjakelun laadun ylläpitämiseksi tai parantamiseksi. Sähköasemien rakentaminen on kuitenkin Suomessa vähentynyt viime aikoina. Syynä tähän voidaan nähdä se, että säh- köasemaverkosto alkaa olla jo hyvin kattava. Paikkoja, joissa sähköä käytetään merkit- tävästi tai jossa kulutus lisääntyy huomattavasti, mutta jossa ei vielä ole sähköasemaa lähellä, on huomattavasti harvemmassa. Toisaalta sähköasemien rakenteet ovat kehitty- neet siten, että pieniä kevytrakenteisia sähköasemia on mahdollista toteuttaa aiempaa edullisemmin. Tämä mahdollistaa asemien rakentamisen alueille, joille ei aiemmin ole sellaista kannattanut rakentaa. [2, s. 119–124] Sähköasemat pyritään yleensä sijoitta- maan kulutuksen painopisteen mukaan. Sijoituspaikkaan vaikuttaa kuitenkin myös ole- massa olevan 110 kV verkon sijainti. [3, s. 96–97]

Sähköasemat koostuvat suurjännitekytkinlaitoksesta, vähintään yhdestä päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta ja apujännitejärjestelmästä käytöntukitoimintoineen. [2, s. 119–124] Usein sähköasemien kojeet ja laitteet hankitaan tehdasvalmisteisina valmiina kojeistoina. [3, s. 76] Kytkeinlaitokset ovat haja-asutusalueilla usein ilmaeristeisiä. Taa- jamissa taas tilaa on asemille vähemmän käytettävissä ja siellä kyseeseen tulevat usein SF₆-eristeiset kojeistot tilan säästämiseksi ja ulkonäöllisistä syistä. [2, s. 119–124] Säh- köasemien rakenteeseen vaikuttaa merkittävästi sen käyttötarkoitus ja toiminnot. Ase- ma, jolla ainoastaan muunnetaan alueverkon jännite keskijänniteverkkoon soveltuvaksi, on huomattavan erilainen kuin asema, johon on esimerkiksi kytketty voimalaitos. Myös aseman sijainti ja sitä kautta sen mahdollinen sijainti verkon merkittävässä solmukoh-

dassa vaikuttaa rakenteeseen. Lisäksi verkko ja johtojen määrä, johon asema kytketään, sekä laitoksen läpi kulkeva teho vaikuttavat suuresti aseman rakenteeseen. [3, s. 96–97]

Päämuuntaja on sähköaseman kallein yksittäinen komponentti, joten se suojataan monipuolisesti. Yleensä pääsuojina toimivat ylivirta- ja differentiaalirele, joka kykenee havaitsemaan muuntajan sisäisiä vikoja kuten oikosulun, maasulun, kierrossulun ja käämisulun. Lisäksi suojana on useimmiten vakavissa muuntajan sisäisissä vioissa nopeimmin toimiva virtauslaukaisulla toimiva kaasurele. Nimellistehoiltaan päämuuntajat ovat yleensä 10–40 MVA ja normaalissa tilanteessa niitä kuormitetaan yleensä 60–80 % kapasiteetistaan. Syynä vajaan kuormitukseen on kapasiteettivaraus saman sähköaseman toisen päämuuntajan tai läheisen sähköaseman vikatilanteita varten. Varasyöttötilanteissa on kuitenkin ympäristön lämpötilan ollessa riittävän alhainen yleensä mahdollista hetkellisesti ylikuormittaa muuntajaa noin 10–30 %. Päämuuntajan kapasiteetilla on vaikutusta keskijänniteverkon oikosulkuvirtoihin siten, että muuntajan nimellistehon ollessa suurempi, ovat myös oikosulkuvirrat suurempia. Usein sähköasemaa rakennettaessa asemalle jätetään tilavaraus toiselle päämuuntajalle, mikäli sinne tulee vain yksi päämuuntaja. Päämuuntajan perustuksiin tehdään öljykuoppa ja keräyssäiliö, jotta mahdollisen muuntajan vikaantumisen seurauksena muuntajasta vuotava öljy pääsisi maaperään. [2, s. 119–124]

Sähköaseman suurjännitekytkinlaitokselle saattaa tulla vain yksi suurjännitejohto, mutta joissakin tapauksissa asemalle voi tulla useampikin johto. Useamman johdon tuleminen asemalle mahdollistaa useammat vaihtoehtoiset syöttösuunnat asemalle, jolloin kiskoston sen salliessa voi olla mahdollista vaihtaa suurjänniteverkon renkaiden jakorajoja tai käyttää suurjänniteverkkoa silmukoituna. [2, s. 119–124]

Keskijänniteverkkojen jännitteen säätö hoidetaan pääasiassa sähköasemalta käsin. Päämuuntajan yläjännitekäämin yhteydessä on käämikytkin, jolla pyritään pitämään alajännitepuolen jännite vakiona sopivassa arvossa, esimerkiksi 20,5 kV:ssa. Käämikytkimen pitäisi pystyä pitämään jännite vakiona riippumatta yläjännitepuolen jännitetasosta ja muuntajan kuormituksesta. Maaseutuverkoissa voidaan lisäksi käyttää ns. compoundointia, jolla kompensoidaan pitkien keskijännitejohtojen jännitteenalenemisiä korottamalla toisiojännitettä kuormituksen lisääntyessä. Päämuuntajaan kytkeytynyt, sähkönsyöttötien keskijänniteverkkoon muodostava, keskijännitekytkinlaitos voi kiskostorakenteensa osalta vaihdella hieman tapauskohtaisesti. Kiskostojärjestelmästä riippumatta johtolähtökennot kuitenkin sisältävät yleensä katkaisijan, virtamuuntajat tai sensorit relesuojausta ja mittauksia varten, sekä usein erottimen. Joissakin tapauksissa erottinta ei kuitenkaan välttämättä ole, mikäli näkyvä erotusväli saadaan muodostettua poissivedettävällä vaunukatkaisijalla. Uudet asennettavat katkaisijat keskijännitekytkinlaitoksilla ovat tyhjiö- tai SF₆-eristeisiä, joskin käytössä on edelleen myös vanhoja vähäöljykatkaisijoita. Sähköaseman keskijännitekytkinlaitokselta keskijännitelähdöt lähtevät yleensä lähimaastoon maakaapeleina, vaikka lähtö muuten olisikin vielä ilmajohtoa. Keskijännitejohtolähtökennojen lisäksi keskijännitekytkinlaitoksessa on yleensä myös

jännitteenmittauskenno, jolla saadaan mitattua kiskojännite releistystä ja energiamittausta varten. Kaapelivirtamuuntajaa käytetään maasulkusuojauksen nollavirran indikointiin. [2, s. 119–124]

Keskijänniteverkot liittyvät sähköasemien kautta kanta- tai alueverkkoon. Kantaverkkoa operoi ja hallinnoi Suomessa kantaverkkoyhtiö Fingrid. Alueverkko on jakeluverkkojen ylin porras ja sen jännitetaso on jopa 110 kV. Tämä mahdollistaa kymmenien megawattien tehon siirtämisen noin sadan kilometrin matkan. [2, s. 11–12] Alueverkot on rakennettu alueelliseen sähkön siirtoon jakelun sijaan ja niihin kuuluvat kantaverkkoon kuulumattomat sähkönsiirtojohtot. Monesti alueverkot toimivat kanta- ja keskijänniteverkkojen välissä. Alueverkot rakennetaan pääosin avojohtoverkkoina, joskin joitakin suurjännitteisiä maakaapeleita on käytössä.

2.1.4 Jakeluverkkojen kehittäminen

Sähköverkkojen suunnittelu ja rakentaminen on hyvin pitkäjänteistä toimintaa. Huolellisella suunnittelulla saadaan käsitys pitkän aikavälin toimenpiteistä, joilla verkkoa hiljalleen viedään kohti tavoitetta. Suunnitelman tueksi pohditaan pienempiä, heti toteutukseen meneviä toimenpiteitä. Verkon primäärikomponenttien käyttöikä on jopa 30–50 vuotta ja elektroniikkaa sisältävät laitteetkin ovat käytössä tyypillisesti noin 10–20 vuotta. Suunnittelussa pitää siis huomioida alueen kehittyminen jopa useiden vuosikymmenien päähän. Tähän vaikuttaa suuresti jakeluverkkoyhtiön maantieteellinen sijainti. Taa-jamissa verkossa siirtyvä teho kasvaa ajan mittaan huomattavasti, jolloin investoinneilla korvataan käyttöikänsä päähän tullutta verkkoa ja lisätään siirtokapasiteettia. Maaseudulla taas on tilanteita, joissa verkossa jaeltava teho kasvaa hyvin vähän tai ei ollenkaan, jolloin investoinneilla korvataan käyttöikänsä päässä olevaa verkkoa ja parannetaan käyttövarmuutta, mutta siirtokapasiteetin merkittävään lisäämiseen ei ole tarvetta. Suunnittelussa tulee pyrkiä huomioimaan muun muassa mahdollisesti tulevaisuudessa alueelle kaavoitettavat asutusalueet ja teollisuus, jotta liian aikaisilta korvausinvestoinneilta vältytään. [2, s. 12–13]

Verkkoa kehitettäessä on oltava selvää, miten verkkoa halutaan kehittää, esimerkiksi onko tavoitteena kehittää verkon käyttövarmuutta, parantaa sähkön laatua vai onko tarve uudistamiselle puhtaasti taloudellisen tehokkuuden parantaminen. Myös kehitystoimenpiteiden toteutustavat voivat vaihdella huomattavasti eri tarpeiden mukaan. Joissakin tapauksissa kannattaa rakentaa kokonaan uutta ja purkaa vanhaa, esimerkiksi vanhan käyttöikänsä päähän tulleen ilmajohdon saneeraus maakaapelioimalla, kun taas joskus on kannattavampaa vain parantaa vanhaa, kuten muuttaa käsiohjattava erotinasema kauko-ohjattavaksi. [2, 126–127] Kehittämistoimenpiteitä pohdittaessa tulee huomioida niiden vaikutus verkkoyhtiön kustannuksiin. Keskijänniteverkon jännite on 50-kertainen suhteessa pienjänniteverkon jännitteeseen. Tämä tarkoittaa, että keskijännitejohtolla voidaan samat sähköiset ominaisuudet sisältävillä johtimilla siirtää 50-kertainen teho saman matkan samalla volteissa lasketulla jännitetasolla. Mikäli sallitaan sama prosen-

tuaalinen jännitteenalenema, on mahdollista siirtää 50-kertainen teho 50-kertaisen matkan päähän. Tästä johtuen tulee jännitetason pienentyessä kehittämisinvestointien olla huomattavasti keskijänniteverkon investointeja halvempia, mikäli tarkastellaan puhtaasti investointien taloudellista kannattavuutta. Joissakin tapauksissa on kuitenkin välttämätöntä tehdä investointeja myös pienjänniteverkkoon niiden tullessa käyttöikänsä päähän tai jäädessä teknisesti riittämättömiksi, esimerkiksi alueen kulutuksen lisääntyessä. [2, s. 158–159]

Sähköverkkoja kehitetään nykyään koko ajan älykkäämmiksi. Jakeluverkkoihin lisätään älyä, jotta sähkömarkkinoiden joustavuutta, sekä sähköverkkojen luotettavuutta, energiatehokkuutta ja taloudellisuutta saataisiin kehitettyä. Energiantuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat merkittävä globaali ongelma niiden kasvihuoneilmiötä vauhdittavan vaikutuksen takia. Päästöjen pienentämiseksi sähköverkkoon kytketään kasvavassa määrin hajautettua uusiutuvaa energiantuotantoa. Tuotannon ja kulutuksen muuttuessa suuremmaksi ja monimuotoisemmaksi myös vaatimukset sähköverkolle kasvavat. Tämä vaatii sähköverkolta entistä älykkäämpää toimintaa. Verkon tulee sopeutua muutuviin kuormitus ja tuotantotilanteisiin, jolloin kysynnän ja tuotannon joustavuus tulevat kyseeseen. Lisäksi tarvitaan automaatiota verkossa esiintyvien ongelmien ennakointiin ja korjaukseen. Älyä verkkoon lisäämällä saadaan parannettua järjestelmän energiatehokkuutta, parannettua sähkön laatua, lyhennettyä keskeytysten pituuksia sekä tehostettua verkkojen ylläpitoa. Tällöin tulee kuitenkin huomioida, etteivät käytetyt ratkaisut ole liian kalliita saatuaan hyötyyn nähden. [4]

2.2 Toimitusvarmuus

Sähkömarkkinalain syksyllä 2013 voimaan tullut uudistus asetti sähköverkkoyhtiöille entistä selvästi kovempia toimitusvarmuusvaatimuksia. [5] Uudistuneen sähkömarkkinalain mukaan myrsky tai lumikuorma ei saa aiheuttaa asemakaava-alueella yli kuuden tunnin pituista sähkönjakelun keskeytystä, eikä asemakaava-alueen ulkopuolella yli 36 tunnin sähkönjakelun keskeytystä. Täysimääräisenä uuden sähkömarkkinalain toimitusvarmuusvaatimukset tulevat voimaan vuonna 2028. [6] Tällä hetkellä noin tiukkoja vaatimuksia ei ole, mutta verkkoyhtiöt joutuvat maksamaan asiakkailleen korvauksia katkojen venyessä. Sähkönjakeluverkko määrittää lähes täysin sähkön käyttäjälle näkyvän käyttövarmuuden, jännitteen laadun ja sähkön laadun yleisesti. [2, s. 9] Loppuasiakkaan kokemista vioista suurin osa aiheutuu keskijänniteverkosta. Tähän vaikuttaa se, että alue- ja kantaverkoissa esiintyy hyvin harvoin vikoja, jotka näkyvät loppuasiakkaalla, kun taas pienjänniteverkossa esiintyvät viat vaikuttavat vain pieneen asiakasmäärään. [2, s. 17–18]

Käyttövarmuudella tarkoitetaan tarkasteltavan kohteen kykyä suorittaa tietty toiminto halutulla ajanhetkellä tietyissä olosuhteissa. Mikäli komponentti ei pysty suorittamaan toimintoa, joka siltä vaaditaan, on komponentti vikaantunut. Sähköverkkojen tapauksessa tavoitteena on, että järjestelmän luotettavuuteen ja turvallisuuteen vaikuttavat viat ai-

heuttaisivat suojauksen toimimisen. Käyttövarmuuden mittaamiseen on olemassa useita eri indeksejä. Yksittäistä komponenttia koskeva hyödyllinen indeksi on vikataajuus, jolla mitataan kuinka monta vikaa komponentissa, joka tarkastelujakson alussa toimii, esiintyy tarkastelujakson aikana. Laajempia koko jakeluverkkoyhtiön verkkoa koskevia luotettavuustunnuslukuja ovat muun muassa SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), joka kertoo vikojen keskimääräisen määrän asiakasta kohden vuoden aikana, CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), joka kertoo vikojen keskimääräisen keston yhtä asiakkaan kokemaa vikaa kohden, SAIDI (System Average Interruption Duration Index), joka kertoo vikojen kokonaiskestoaajan asiakasta kohden vuodessa sekä MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index), joka kertoo jälleenkytkentöjen keskimääräisen määrän asiakasta kohden vuodessa. Edellä mainitut tunnusluvut ovat laajamittaisessa käytössä ja niitä sekä niiden kehittymistä seurataan jakeluverkkoyhtiöissä tarkasti. [2, s. 44–45]

Keskeytykset sähkönjakelussa aiheuttavat aina kustannuksia verkonhaltijalle. Verkonhaltija menettää tuloa toimittamatta jääneestä sähköstä, joissakin tapauksissa keskeytys aiheutuu viasta, jonka korjaamiseksi tarvitaan henkilöstöä ja materiaaleja ja keskeytyksen venyessä, voi verkkoyhtiö joutua maksamaan asiakkailleen korvausta. Näiden kustannusten laskenta on olennaista, jotta voidaan selvittää eri investointien, esimerkiksi verkon saneerauksen tai kunnossapidon tehostamisen kannattavuutta. Kustannusanalyysiä tehtäessä on saatava selville kuinka eri verkostovaihtoehdot vaikuttavat loppukäyttäjien keskeytysaikoihin sekä toimittamatta jäävän energian määrään. Näille on laskennassa käytettävä oikeaa yksikköhintaa. [2, s. 44]

Toimittamatta jääneen energian hinnan arvostus ei ole täysin suoraviivaista. Arvostuksen alarajana voidaan pitää katetuottoa, jonka verkkoyhtiö saa toimittamaansa energia-yksikköä kohti. Ylärajaan taas vaikuttaa asiakkaan kokemaa haittaa katkoksesta, sillä se on olennaisesti katetuottoa suurempi. Jopa lyhytaikaiset katkot voivat aiheuttaa tuotantohäiriöitä tai ylimääräistä vaivaa. Kotitalousasiakkaille erityisesti pitkittyvät katkot suurentavat keskeytyksen yksikkökustannuksia muun muassa pakasteiden sulamisriskin takia. Keskeytyksestä aiheutuvan haitan hinnoittelun selvittämiseksi on Suomessa tehty laajoja tutkimuksia. Tutkimuksissa on pyritty selvittämään sekä ennalta ilmoitettujen, että yllättäen tulevien katkojen rahallista haittaa erityyppisille asiakkaille. Saatujen tulosten perusteella keskeytyksestä aiheutunut haitta on monikymmenkertainen verrattuna sähkön kokonaishankintahintaan. Tutkimusten tuloksena saatuja arvoja voidaan käyttää keskeytyskustannusten ylärajana. [2, s. 44]

Asiakkaille sähkönjakelun keskeytyksen takia maksettavan vakiokorvauksen määrä riippuu katkon pituudesta ja pituuden kasvaessa myös korvaukset kasvavat. Vakiokorvaukset ovat aina tietyn prosenttiosuuden asiakkaan vuotuisesta verkkopalvelumaksusta. Vuodessa asiakkaalle maksettavan vakiokorvauksen enimmäismäärä on 2000 €. Sähkökatkoista maksettavat vakiokorvaukset on esitetty taulukossa 1. [7]

Taulukko 1. Sähkökatkoista maksettavat vakiokorvaukset [7].

| Keskeytyksen pituus (h) | Korvaus (% vuotuisesta verkkopalvelumaksusta) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| 12-24 | 10 |
| 24-72 | 25 |
| 72-120 | 50 |
| 120-192 | 100 |
| 192-288 | 150 |
| 288- | 200 |

Vakiokorvausten lisäksi ainakin Elenia maksaa asiakkailleen korvausta 3 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta katkon kestäessä 6-12 tuntia. [7]

2.3 Sähköverkkoliiketoiminta

Sähkömarkkina-alueissa kuvataan sähköverkkoliiketoiminnaksi sähköverkon asettamista sähkönsiirtoa ja muita verkkopalveluita tarvitsevien käyttöön vastiketta vastaan. Verkkoliiketoimintaan kuuluvat verkkojen suunnittelu, rakentaminen, ylläpito ja käyttö, asiakkaiden sähkölaitteistojen liittäminen verkkoon, sähkön mittaus sekä muut toimenpiteet, joita tarvitaan sähkön siirtoa ja muita verkkopalveluita varten. Kulut, jotka liittyvät edellä mainittuihin luetaan kuuluvaksi verkkoliiketoiminnan kustannuksiin yhdessä verkonhaltijan asiakkaille keskeytyksistä maksamien kulujen kanssa. [8, s. 58]

Jakeluverkkoliiketoiminta, niin kuin sähköverkkoliiketoiminta ylipäättäänkin, on hyvin pääomavaltaista toimintaa. Verkot ovat laajoja kokonaisuuksia, jotka vaativat jatkuvia investointeja. Suomessa käytetyn sähkön määrä kasvaa jatkuvasti ja se aiheuttaa vaatimuksen verkkojen vahvistamiselle ja kehittämiselle. Verkkoyhtiö ei pysty tähän kasvuun vaikuttamaan, joten suuri osa investoinneista tulee ikään kuin pakon sanelemana, eikä komponentteja aina pystytä pitämään käytössä koko teknistaloudellista pitoaikaansa. Tämä asettaa suuren haasteen verkkoja suunniteltaessa. Verkkokomponenttien pitoajat ovat kuitenkin pitkiä vaihdellen kymmenestä viiteenkymmeneen vuoteen. Tyypillisiä poistoajkoja ovat esimerkiksi keski- ja pienjänniteverkostolle, sähköasemille ja jakelumuuntamoille 20–50 vuotta sekä automaatiolaitteille, erotinasemille ja kWh-mittareille 10 vuotta. Investointitarve ei tule lähiaikoina pienentymään vaan päinvastoin kasvaa entisestään verkon ikääntymisen ja kiristyneiden toimitusvarmuusvaatimusten johdosta. [2, s. 274–277] Verkkoliiketoiminnassa palveluiden käyttö on viime aikoina ollut kasvussa. Jakeluverkkoyhtiöt eivät siis tee kaikkia töitään enää itse vaan ostavat osan palveluista, kuten verkon rakentamis- ja kunnossapitopalvelut, ulkopuoliselta palveluntarjoajalta. Tämä siirtää monopolin piirissä olevaa liiketoimintaa kilpailuille markkinoille. [2, s. 23]

2.3.1 Suomen sähkömarkkinat

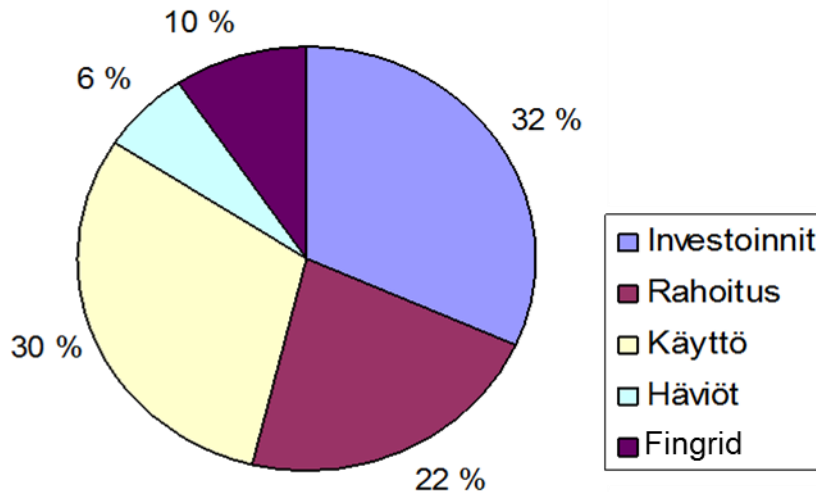
Suomessa on noin 100 verkkoliiketoimintaa harjoittavaa verkkoyhtiötä, joista jokaisella on oma energiaviraston vahvistama jakelualue. [2, s. 19] Suomi oli ensimmäisiä maita, joissa sähkömarkkinat avattiin kilpailulle. Nykyään Suomen sähkömarkkinat ovatkin yhdet maailman vapaimmista. [5] Suomen sähkömarkkinoiden uudistaminen ja kilpailulle avaaminen alkoi vuonna 1995 ensimmäisen sähkömarkkinalain myötä ja tämän jälkeen markkinoiden avautuminen on edennyt vaiheittain vuosina 2003 ja 2009 Euroopan parlamentin ja -neuvoston antamalla toisella ja kolmannella energiamarkkinapakettilla. Näillä on haluttu luoda monopoliluonteiselle toimialalle kilpailulliset yhteiseurooppalaiset sähkömarkkinat ja poistaa kilpailun esteitä. Suomessa uusin sähkömarkkinalaki on tullut voimaan vuonna 2013. [9]

Jakeluverkkoyhtiöitä Suomessa on noin 80. Yhtiöt ja niiden toimintaolosuhteet vaihtelevat hyvin voimakkaasti. Pienimmät verkkoyhtiöt toimivat vain yhden kunnan alueella palvellen alle tuhatta asiakasta, kun taas suurimmat yhtiöt toimivat usean maakunnan alueella palvellen satoja tuhansia asiakkaita. Lisäksi suuria eroja jakeluverkkoyhtiöiden välille tuovat muun muassa verkkopituus asiakasta kohden (16–395 m), kaapelointiaste (0,8–99,7 %,) sekä keskeytysmäärät ja -pituudet (0,1–30 h/a). [10] Suomen kantaverkkoa valvoo ja kehittää Fingrid Oyj ja jakeluverkkoyhtiöistä suurimpia ovat Caruna Oy, Elenia Oy ja Helen Sähköverkot Oy. Jakeluverkkoyhtiöistä viisitoista suurinta kattavat yli 70 prosenttia sähkönjakeluverkoista sekä sähköverkkoliiketoiminnan asiakkaista ja liikevaihdesta. [11]

Sähkömarkkinalain määräykset ovat muodostaneet sähkönjakelusta oman irrallaan muusta sähkö- ja energialiiketoiminnasta olevan liiketoiminta-alueen. Energiapolitiikan tavoitteina on taata energia-alan markkinoiden toimivuus, varmistaa energian saatavuus ja huolehtia, että energiantuotannossa syntyvät päästöt pysyvät kansainvälisten sitoumusten asettamissa rajoissa. Viime vuosina Euroopan Unioni on ottanut vahvempaa roolia jäsenmaidensa energiapolitiikan ohjauksessa tavoitteenaan alan kilpailun lisääminen ja Euroopan yhteisten energiamarkkinoiden toteutumisen edistäminen. Kilpailun lisäämisen toivotaan johtavan parempaan tehokkuuteen ja energian huoltovarmuuden parantumiseen. Euroopan Unionin näkemyksen mukaan energiavarmuuden luotettavuuteen vaaditaan täysin kilpaillut energian sisämarkkinat, kattavat verkkojen ulkomaanyhteydet ja Euroopan yhteiset turvanormit. [5]

Sähköverkkoyhtiöt toimivat alueellisessa monopoliasemassa. Jakeluverkonhaltijoilla on Energiaviraston myöntämä sähköverkkolupa. Sähköverkkoluvassa on määritelty maantieteellinen vastuualue, jonka sisällä jakeluverkkoyhtiön on myytävä kohtuullisella hinnalla sähkönsiirtopalveluja niitä tarvitseville, liitettävä sähkönkäyttö- ja -tuotantopaikat verkkoonsa, kunhan ne täyttävät tekniset vaatimukset sekä huolehdittava sähkön mittauksesta asianmukaisella tavalla. Lisäksi jakeluverkkoyhtiöt ovat velvollisia kehittämään verkkoaan käyttötarpeita vastaavaksi. [2, s. 237] Loppukäyttäjän sähkön koko-

naishinnasta sähkönjakeluverkkoliiketoiminta kattaa noin 15–50 % riippuen siitä, kuinka paljon sähköä käyttää. Suuremmilla kulutuksilla jakeluverkkoliiketoiminnan osuus yleensä pienenee. [2, s. 17] Siirtohinnasta noin 54 prosenttia kuluu investointeihin ja rahoitukseen, kunnossapitoon ja vianhoitoon noin 30 prosenttia ja verkostohäviöihin noin 6 prosenttia. [10] Kuvassa 2 on esitelty sähkön verottoman siirtohinnan muodostuminen eri komponenteistaan.



Kuva 2. Sähkön siirtohinnan muodostuminen [10].

Kuvassa Fingrid tarkoittaa kantaverkkoyhtiö Fingridille jakeluverkkoyhtiöiden maksamia kantaverkon siirtomaksuja. Kuvasta on nähtävissä investointien suuri osuus siirtohinnasta. Suomessa investoidaan tällä hetkellä voimakkaasti sähköverkkoihin, sillä monilta osin verkot alkavat olemaan käyttöikänsä päässä ja uusien tiukentuneiden toimitusvarmuusvaatimusten vuoksi verkkoa pitää kehittää.

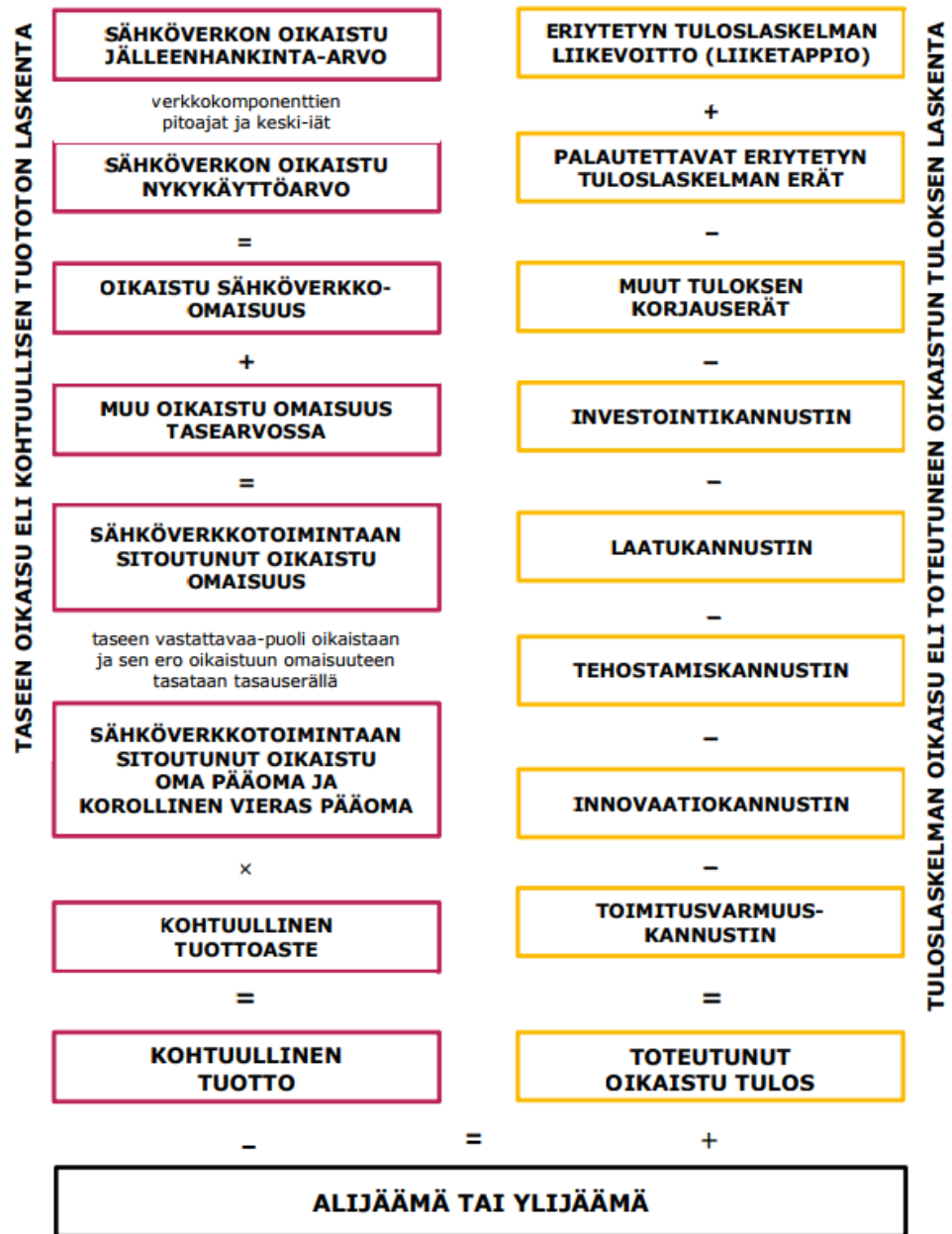
2.3.2 Lainsäädäntö ja valvonta

Väärinkäytösten välttämiseksi jakeluverkkoliiketoimintaan liittyy myös vahva viranomaisvalvonta. Valvonnalla ja sääntelyllä on tarkoitus varmistaa loppuasiakkaalle hinnoittelun kohtuullisuus ja energiantoimituksen laatu, yhteiskunnalle halutaan varmistaa luotettava energiajärjestelmä kohtuullisin kustannuksin ja verkkoyhtiöiden omistajille kohtuullinen tuotto verkkoliiketoimintaan sijoitetulle pääomalle, sekä riittävän vakaa ja ennakoitava liiketoimintaympäristö. Lisäksi tavoitteena mahdollistaa verkkoyhtiöille riittävät tulot verkkojen kehittämiseen ja ylläpitoon. Suomen energiamarkkinoiden sääntelyn valmistelun kokonaisvastuu kuuluu Työ- ja elinkeinoministeriölle, joka elinkeinopolitiikan asiantuntijaorganisaationa vastaa yritysten toimintaedellytyksistä, turvaa kansalaisten asemaa markkinoilla ja hoitaa valtion yritysomaaisuutta. Energiavirasto valvoo, että sähkömarkkinalaki toteutuu. Lisäksi sen tehtävänä on edistää energiamarkkinoiden toimintaa. Työ- ja elinkeinoministeriön alainen Kilpailu- ja kuluttajavirasto seuraa energian hinnoittelua ja pyrkii siten edistämään talouden tehokkuutta. Lisäksi kuluttaja-asiamies turvaa kuluttajien taloudellista, terveydellistä ja oikeudellista asemaa to-

teuttamalla kuluttajapolitiikkaa myös energian osalta. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto valvoo verkkojen turvallisuutta tavoitteenaan taata, että verkkojen rakentaminen, huolto ja käyttö hoituvat turvallisesti. Huoltovarmuuskeskus huolehtii poikkeusolosuhteiden varalta välttämättömien toimintojen turvaamisesta painottaen toimintaansa teknisiin järjestelmiin. [5]

Sähköverkkoliiketoiminnan kannalta merkittävin valvova viranomainen Energiavirasto valvoo ja edistää kilpailulle perustuvien sähkömarkkinoiden toimintaa sekä valvoo verkkoyhtiöitä taloudellisesti ja teknisesti. Valvonnan perustana ovat sekä kansallinen että Euroopan Unionin sähkömarkkinalainsäädäntö, joiden rungon muodostavat Suomessa sähkömarkkinalaki ja sen perusteella annetut säädökset sekä Euroopan unionin sähkökauppa-asetus. [9] Valvovana viranomaisena Energiavirasto kerää ja julkistaa siirtohintoihin liittyviä tietoja tavoitteenaan valvoa valvontajaksoittain, että siirtohinnoittelu on kohtuullista ja toiminta tehokasta. [2, s. 273] Energiaviraston tehtäviin kuuluvat kansallisen ja EU-tason energiamarkkinoiden edistäminen, toimitusvarmuuden seuranta ja varmistus, kilpailukykyisen hinnan sekä kohtuullisten palveluperiaatteiden varmistaminen. Lisäksi Energiavirasto muun muassa varmentaa kantaverkonhaltija Fingridin riippumattomuuden sekä määrittää sen noudatettavaksi useat tehtävät, jotka kuuluvat järjestelmävastuuseen. Näitä tehtäviä ovat muun muassa tasepalvelut ja ulkomaanyhteyksien siirtopalveluehdot. [9]

Verkkoliiketoiminnan valvontaperiaatteet julkistetaan Energiaviraston toimesta valvontajaksoittain. Ensimmäinen valvontajakso alkoi vuonna 2005, ja tällä hetkellä on meillä neljäs valvontajakso, joka kestää 2016–2019. Ensimmäisillä valvontajaksolla valvonta perustui vankemmin pelkkään taloudelliseen valvontaan, mutta sittemmin valvontaan on tullut myös muita elementtejä. Esimerkiksi laadun valvonta erityisesti käyttövarmuuteen pohjautuen tuli mukaan regulaatioon toiselle valvontajaksolle 2008–2011. Laadun valvonnan lisäksi regulaatiossa kannustetaan nykyään myös tehostamaan ja kehittämään toimintaa sekä innovoimaan. [2, s. 19–21] Sähkömarkkinalainsäädäntö asettaa sähköverkkoliiketoiminnan erityisvalvonnan päätavoitteiksi verkkopalveluiden hinnoittelun kohtuullisuuden ja korkean laadun. Tähän pyritään useista eri menetelmistä koostuvalla kattavalla kokonaisuudella sekä menetelmien verkonhaltijan liiketoimintaan kohdistuvilla käytännön ohjausvaikutuksilla. Lisäksi valvonnalla tavoitellaan esimerkiksi tasapuolisuutta, verkon kehittämistä sekä liiketoiminnan pitkäjänteisyyttä, jatkuvuutta, kehittämistä ja tehokkuutta. [8, s. 9] Kuvassa 3 on esitelty verkkoliiketoiminnan regulaatiomalli neljännellä ja viidennellä valvontajaksolla kaaviokuvana.



Kuva 3. Verkkoliiketoiminnan valvonta [8, s. 6].

Verkkoliiketoiminnan taloudellinen valvonta kohdistuu erityisesti voittoon ja toimintojen tehostamiseen. Joka toukokuussa Energiavirasto määrittää sijoitetulle pääomalle suurimman sallitun kohtuullisen tuoton. Tätä tuottoa ei toistuvasti saa ylittää. Mikäli verkkoyhtiö tuottaa enemmän kuin on kohtuullinen tuotto, voi energiavirasto määrätä, että kyseisen yhtiön on seuraavalla valvontajaksolla alennettava hinnoitteluaan ylityksen mukaisesti. Vastaavasti alle kohtuullisen tuoton tuottanut yhtiö voi säätää siirtohinnoitteluaan kattaakseen alituoton. [2, s. 273] Verkkoon sitoutuneen pääoman arvolla on suuri merkitys kohtuullisen tuoton laskennassa, joten verkkoon tehtävät investoinnit vaikuttavat olennaisesti verkkoyhtiöiden tuottoon. Tästä johtuen verkonhaltijan taloudellisen strategian ja verkoston kehittämissuunnittelun on noudatettava hyvin yhteen sopivia periaatteita. [2, s. 19–21]

Energiaviraston määrittämät verkkoliiketoiminnan valvontaperiaatteet sisältävät useampia kannustimia, joilla verkkoyhtiöt voivat vaikuttaa hieman siihen, kuinka paljon voivat voittoa tehdä valvontajaksokausittain. Investointikannustimella tavoitellaan, että verkonhaltijan tekemät investoinnit olisivat kustannustehokkaita ja että korvausinvestointien tekeminen olisi mahdollista. Investointikannustimen yksikköhintoihin perustuva kannustinvaikutus saadaan laskettua vertaamalla Energiaviraston yksikköhinnoilla laskettuja investoinnin kustannuksia investoinnin todellisiin toteutuneisiin kustannuksiin. Tämä ohjaa verkonhaltijaa etsimään mahdollisimman kustannustehokkaita toteutustapoja investoinneilleen ja siten saamaan verkolleen suuremman jälleenhankinta-arvon kuin mitä investointi todellisuudessa tuli maksamaan. Lisäksi verkonhaltijaa ohjataan yhdessä nykykäyttöarvon kanssa verkonhaltijan oikaistusta jälleenhankinta-arvosta laskettavan tasapoiston kannustinvaikutuksella ylläpitämään verkkoaan valitsemiensa pitoaikojen mukaisesti. Verkonhaltijalle menetelmät sallivat verkonhaltijan valitseman poistotason vuosittain täysimääräisenä aina siihen saakka, kunnes komponentti poistetaan tosiasiallisesta käytöstä. Tämän seurauksena verkonhaltija voi siis laskea tasapoiston komponentille, vaikka komponentin taloudellinen pitoaika olisikin ylittynyt, jolloin muihin komponentteihin on mahdollista kohdistaa ennenaikaisia korvausinvestointeja. Kun verkonhaltijan investoinneista osa tulee ennen vanhan komponentin pitoajan täyttymistä ja osa vasta sen jälkeen, ovat kaikki komponentit käytössä keskimäärin pitoaikansa ja tämän investointikannustin mahdollistaa. [8, s. 64]

Regulaattori esittää vaatimuksia tehostaa toimintaa, jolloin on vaarana, että laatu putoaa. Tästä syystä laadun valvonta on tärkeää. Laadukannustimen tavoitteena on ohjata verkonhaltijaa saavuttamaan vähintään sähkömarkkina-alueissa vaadittu toimitusvarmuustaso ja lisäksi ohjata verkonhaltijaa, jotta tämä kehittäisi sähkönsiirron ja -jakelun laatua jopa lain vaatimuksia paremmalle tasolle oma-aloitteisesti. Laadun valvonta kohdistuu regulaatiossa erityisesti käyttövarmuuteen ja laatua kuvataan keskeytyskustannuksilla, jolloin laadun muutokset vaikuttavat suoraan sallittuun ja toteutuvaan liiketaloudelliseen tulokseen. Jakeluverkonhaltijan osalta regulaatiossa huomioidaan suunniteltujen ja odottamattomien keskeytysten lukumäärä ja keskeytysaika, sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen määrät. Neljännellä valvontajaksolla kyseisistä keskeytyksistä huomioidaan keskijänniteverkosta aiheutuvat, viidennellä valvontajaksolla regulaatioon tulee mukaan lisäksi suurjänniteverkosta aiheutuvat. Keskeytyskustannusten yksikköhinnat on määritetty Teknillisen korkeakoulun ja Tampereen teknillisen yliopiston tekemässä tutkimuksessa ja niiden arvot on esitetty taulukossa 2. [8, s. 66–68]

Taulukko 2. Keskeytyksistä aiheutuvan haitan yksikköhinnat. [8, s. 69].

| Odottamaton keskeytys | | Suunniteltu keskeytys | | Aikajälleenkytkentä | Pikajälleenkytkentä |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| $h_{E,odott}$ (€/kWh) | $h_{W,odott}$ (€/kW) | $h_{E,suunn}$ (€/kWh) | $h_{W,suunn}$ (€/kW) | h_{AJK} (€/kW) | h_{PJK} (€/kW) |
| 11,00 | 1,10 | 6,80 | 0,50 | 1,10 | 0,55 |

Laatukannustimen vaikutus vähennetään, kun lasketaan toteutunutta oikaistua tulosta. Vähennettävä vaikutus saadaan laskettua, kun vähennetään toteutuneet keskeytyskustannukset keskeytyskustannusten vertailutasosta. [8, s. 75] Laskennassa laatukannustimen vertailutasona käytetään kahden edellisen valvontajakson, eli yhteensä kahdeksan vuoden, keskeytyskustannusten keskiarvoa. Vertailutasoa korjataan asiakkaille siirretyllä energialla, jotta vuodet saadaan keskenään vertailukelpoisiksi, eikä esimerkiksi poikkeuksellisen kylmä talvi pääse vaikuttamaan kannustimeen. [8, s. 69] Korkeintaan laatukannustimen vaikutus voi olla 15 prosenttia kyseisen vuoden kohtuullisesta tuotosta suuntaan tai toiseen [8, s. 75].

Lisäksi sähkömarkkinalaki velvoittaa verkkoyhtiöt maksamaan korvauksia asiakkailleen yli 12 tunnin sähkökatkoista. Laissa on suosituksena myös maksaa korvausta yli kahdeksan tunnin katkoista. [2, s. 19–21] Esimerkiksi Elenia maksaa asiakkailleen korvausta jo yli kuuden tunnin sähkökatkoista [12]. Jännitteen laatu ei ole mukana regulaatiossa. Verkkoyhtiöiden on kuitenkin noudatettava jännitteen laadun suhteen standardin SFS-EN 50160 mukaisia ehtoja. Useimmilla verkkoyhtiöillä on kuitenkin käytössä omat standardia tiukemmat määräykset jännitteen laadulle. [2, s. 19–21]

Energiavirasto asettaa valvontajaksoittain yleisen ja yhtiökohtaisen tehostamistavoitteen. [2, s. 273] Tehostamiskannustin kannustaa verkonhaltijaa toimimaan kustannustehokkaasti, jolloin toimintaan käytetyt panokset ovat mahdollisimman pienet suhteessa saatuihin tuotoksiin. Tehostamiskannustimessa huomioidaan sekä yleinen, koko toimialaa koskeva tehostamistavoite, että yhtiökohtainen tehostamistavoite. Yleisen tavoitteen tarkoituksena on ohjata verkonhaltijan toiminnan tehostamista yleisen tuottavuuskehityksen mukaisesti. Yhtiökohtaisessa tehostamiskannustimessa huomioidaan yhtiöiden väliset erot muun muassa toimintaympäristöissä ja verkkojen rakenteissa. Yhtiökohtainen tavoite erottelee esimerkiksi kaupunkiyhtiöt ja maaseutuyhtiöt oikeudenmukaisemman kannustimen luomiseksi. Lisäksi yhtiökohtaisella tehostamistavoitteella pyritään kannustamaan yrityksiä, jotka on tehokkuusmittauksissa todettu tehottomiksi, tehostamaan toimintaansa kohti tehokkaan toiminnan mukaista tasoa. [8, s. 76–79] Tehostamiskannustimen vaikutus vähennetään, kun lasketaan toteutunutta oikaistua tulosta. Vaikutus lasketaan erottamalla tehostamiskannustimen vertailutasosta kyseisen vuoden tehostamiskustannukset ja sen vaikutus voi olla korkeintaan 20 prosenttia suuntaan tai toiseen verkonhaltijan saman vuoden kohtuullisesta tuotosta. [8, s. 92–93]

Innovaatiokannustimen tavoitteena on kannustaa verkkoyhtiöitä kehittämään ja käyttämään uusia innovatiivisia toiminnallisia ja teknisiä ratkaisuja liiketoiminnassaan. Keskeisenä tavoitteena innovaatiokannustimella on saada kehitettyä ja otettua käyttöön uusia tekniikoita, kuten älykkäitä sähköverkoja. Uusien ratkaisujen kehittäminen on usein kallista ja tuottoa kehitystoimintaan sijoitetulle pääomalle saadaan usein vasta huomattavasti sijoituksen jälkeen ratkaisuiden tullessa tuotantokäyttöön. Tästä syystä innovaatiokannustimella pyritään mahdollistamaan kehitystyö. Innovaatiokannustimen vaikutus saadaan vähentämällä toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa yhtiön tuloksesta koh-

tuulliset tutkimus- ja kehityskustannukset. Kyseisten kustannusten tulee aiheutua kehityshankkeesta, jonka tulosten tulee olla julkisia ja koko toimialan hyödynnettävissä sekä liittyä toimialalle uuden tiedon, teknologian, tuotteen tai toimintatavan synnyttämiseen. Innovaatiokannustin voi olla enintään yhden prosentin verkonhaltijan koko valvontajakson eriytettyjen tuloslaskelmien verkkotoiminnan liikevaihtojen summasta. [8, s. 93–94]

Toimitusvarmuuskannustin tuo laskennassa huomioon tasapuolisesti sähkömarkkinalain toimitusvarmuusvaatimukset. Uusi sähkömarkkinalaki tuo mukanaan tiukkoja toimitusvarmuusvaatimuksia, joiden seurauksena osa verkkoyhtiöistä on pakotettu suuriin korvausinvestointeihin ja kunnossapitotoimiin. Toimitusvarmuuskannustimella halutaan, että lain verkonhaltijoilta velvoittamat toimitusvarmuusvaatimukset olisi mahdollista saavuttaa määräajassa mahdollisimman kustannustehokkaasti saadut hyödyt huomioiden. Jotta kannustin olisi tasapuolinen, on se käytössä ainoastaan verkonhaltijoilla, jotka eivät saavuta lain vaatimaa toimitusvarmuustasoa normaaleilla kunnossapitotoimilla ja korvausinvestoinneilla. Kannustimen laskennassa huomioidaan muun muassa keskijänniteverkon läheisyydessä sijaitsevan metsän eli niin sanotun vierimetsän tehostettu hoito ja toimitusvarmuuskriteerien takia ennaikaisesti tehtävät korvausinvestoinnit. Kannustimen laskennassa summataan toimitusvarmuuden parantamiseksi ennen pitoajan täyttymistä tehtyjen korvausinvestointien aiheuttamat nykykäyttöarvojen jäännösarvon alaskirjaukset ja kunnossapito- ja varautumistoimien kohtuulliset kustannukset. [8, s. 94–99] Kuvassa 4 on esitetty verkkoyhtiön toteutuneen oikaistun tuloksen laskentaa.

| VERKKOTOIMINNAN ERIYTETYN TULOSLASKELMAN LIIKEVOITTO (LIIKETAPPIO) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| + Palautettavat eriytetyn tuloslaskelman erät | |
| + Palautuskelpoisten liittymismaksujen nettomuutos | |
| + Maksetut verkkovuokrat | |
| + Suunnitelman mukaiset poistot liikearvosta | |
| + Muihin kuluihin kirjattu verkonosuuden myyntitappio | |
| - Muihin tuottoihin kirjattu verkonosuuden myyntivoitto | |
| + Suunnitelman mukaiset poistot ja arvonalentumiset sähköverkon hyödykkeistä | |
| - Tuloksen korjaukset | |
| + Rahoitusomaisuuden kohtuulliset kustannukset | |
| - Investointikannustin | |
| + Sähköverkko-omaisuuden oikaistut tasapoistot | |
| - Laatu-kannustin | |
| + Keskeytyskustannusten vertailutaso | |
| - Toteutuneet keskeytyskustannukset | |
| - Tehostamiskannustin | |
| + Tehostamiskustannusten vertailutaso | |
| - Toteutuneet tehostamiskustannukset | |
| - Innovaatiokannustin | |
| + Tutkimus- ja kehittämistoiminnan kohtuulliset kustannukset | |
| - Toimitusvarmuuskannustin | |
| + Ennenaikaisista korvausinvestoinneista aiheutuvat NKA-jäännösarvon alaskirjaukset | |
| + Kunnossapito- ja varautumistoimenpiteiden kohtuulliset kustannukset | |
| = TOTEUTUNUT OIKAISTU TULOS | |

Kuva 4. Verkkoyhtiön toteutuneen oikaistun tuloksen laskenta. [8, s. 101]

Vaikka regulaatio määrittelee verkkoyhtiöiden toimintaa hyvin tarkasti, ei se ota kantaa kunnossapitoon. Tällä hetkellä regulaatiossa pääpaino on investoinneissa. Tämä johtuu siitä, että Suomessa sähköverkot alkavat olemaan monilta osin käyttöikänsä päässä ja uusi sähkömarkkinalaki asettaa kovat tavoitteet käyttövarmuuden parantamiselle, joten verkkoyhtiöillä on menossa ja lähivuosina tulossa mittavia investointitarpeita. Tulevaisuudessa kuitenkin on mahdollista, että regulaatio ottaa enemmän kantaa kunnossapitoon, kun verkkoyhtiöt saavat verkkonsa päivitettyä uuden lain vaatimuksia vastaaviksi ja vuotuiset investoinnit pienenevät.

2.4 Elenia Oy

Elenia Oy on osa Elenia-konsernia, johon kuuluvat lisäksi tytäryhtiöt Elenia Lämpö Oy, Elenia Palvelut Oy ja Elenia Finance Oyj. Konsernin omistavat Keskinäinen Eläkevaakuutusyhtiö Ilmarinen, 3i ja GS Infrastructure Partners. Elenia Oy on asiakasmäärässä mitattuna Suomen toiseksi suurin jakeluverkkoyhtiö toimittaen sähköverkkopalveluita

noin 420 000 asiakkaalle. Elenian verkkoaluetta on Kanta- ja Päijät-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla noin sadan kunnan alueella. Kokonaisuudessaan Elenialla on sähköverkkoa noin 68 900 km, josta maakaapeloituna oli vuoden 2016 lopussa 38 %. [13, s. 3-4]

Tavoitteena Elenialla on maakaapeloida 70 % sähköverkostaan vuoteen 2028 mennessä, jolloin uuden sähkömarkkinalain tiukentuneet toimitusvarmuusvaatimukset tulevat kokonaisuudessaan voimaan. Päästäkseen tähän Elenia on viime vuosina investoinut vuosittain sähköverkkoonsa noin 100 miljoonaa euroa, jolla on vuosittain rakennettu noin 3000 kilometriä maakaapeloitua sähköverkkoa. Vuodesta 2009 lähtien Elenia on rakentanut sähköverkkooaan käytännössä pelkästään maakaapeloimalla paremman toimitusvarmuuden sekä turvallisuus- ja ympäristönäkökulmien vuoksi. [13, s. 26]

Sähköverkkonsa rakennus- ja kunnossapitopalvelut Elenia hankkii laajalta kumppaniverkostoltaan. Elenialla on kumppaneina koti- ja ulkomaisia järjestelmä- ja materiaali-toimittajia sekä erilaisia ja -kokoisia urakointi- ja muita palveluita toimittavia yrityksiä. Työntekijöitä koko Elenia-konsernissa on 310. [13, s. 36] Toiminnassaan Elenia panostaa korkeaan laatuun ja turvallisuuteen. Tästä osoituksena Elenialle on myönnetty omaisuudenhallinnasta PAS 55- ja ISO 55001 -standardien mukaiset laatusertifikaatit, sertifioitu ISO 14001 -ympäristöjärjestelmä sekä OHSAS 18001 -sertifioitu työterveys- ja työturvallisuusjärjestelmä. [14]

3. KUNNOSSAPITO

Kunnossapidon tärkein tavoite on pitää verkon komponentit toimivina ja turvallisina siten, että verkon kokonaiskustannukset, huomioiden investoinnit, käytön, keskeytykset ja kunnossapidon, muodostuvat pitkällä tähtäimellä kaikkein pienimmiksi. Hyvin toteutulla kunnossapidolla on mahdollista saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä. Kunnossapito itsessään aiheuttaa yritykselle kustannuksia, mutta sen järkevällä toteutuksella on mahdollista pienentää muun muassa käyttökatkoista ja investoinneista aiheutuvia kustannuksia. Hyvällä kunnossapidolla voidaan laitteiden käyttöiä pidentää vähentäen täten tarvittavia investointeja. [2, s. 228]

Kunnossapitostrategiaa suunniteltaessa on tärkeää selvittää oikea tasapaino ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon välillä liiallisten kustannusten muodostumisen estämiseksi. Kunnossapitoa toteutetaan helposti jopa liikaa, jolloin siitä aiheutuvat kustannukset ovat suuremmat kuin siitä saatavat hyödyt. Joidenkin laitteiden vikaantumisen vaikutukset ovat sen verran pieniä, että laitteelle ei kannata kohdistaa ollenkaan ehkäisevää kunnossapitoa, vaan pelkästään korjata niitä vian esiinnyttyä. Lisäksi joissakin tapauksissa kunnossapidon aiheuttama laitteiden ylimääräinen purkaminen ja kokoaminen voi jopa kasvattaa laitteen vikaantumistodennäköisyyttä enemmän kuin kunnossapidon puute. Jotkut laitteet taas ovat niin kriittisiä, että niiden ennakoivaan kunnossapitoon kannattaa panostaa huomattavastikin. Laitteen vikaantumisen aiheuttaman haitan lisäksi myös turvallisuus on huomioitava kunnossapitostrategiaa suunniteltaessa. Vaikka laitteen vikaantumisen seuraukset ovat muuten pienet, mutta vikaantuminen voi aiheuttaa vakavia vaaratilanteita, voi olla syytä käyttää ennakoivaa kunnossapitoa. [2, s. 228] Aina ei kuitenkaan kunnossapitoa suunniteltaessa ole mahdollista suunnitella sitä pelkästään kustannuksiin perustuen, vaan esimerkiksi turvallisuus- ja lakivaatimukset saattavat asettaa omat vaatimuksensa kunnossapidolle.

3.1 Kunnossapidon lajit

Kaikkein karkeimmalla tasolla kunnossapito voidaan jakaa ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Ehkäisevää kunnossapitoa voidaan toteuttaa joko aikaperusteisesti (time based maintenance, TBM), jolloin komponenttia huolletaan tietyin väliajoin sen kunnosta välittämättä, tai kuntoperusteisesti (condition based maintenance, CBM), jolloin esimerkiksi seurataan joitakin laitteen kunnosta kertovia parametreja ja tietyn raja-arvon ylittyessä suoritetaan kunnossapitoa. Joissakin tapauksissa käytetään kuntoon ja aikaan perustuvan kunnossapidon yhdistelmää, jolloin joitakin tarkastuksia ja huoltoja tehdään määräajoin tai tietyn raja-arvon ylittyessä. Viime aikoina kunnossapito on suun-

tautunut enemmän kohti kuntotilan seurantaan perustuvaa kunnossapitoa. [2, s. 228] Lisäksi kunnossapitoa voidaan jakaa myös sen mukaan, pyritäänkö kunnossapidolla vain pitämään tai palauttamaan laite aiempaan toimintakuntoonsa, vai tavoitellaanko kunnossapidolla jopa laitteen toiminnan parantumista.

3.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavan kunnossapidon tavoitteena on palauttaa vioittunut komponentti toimintakuntoon vikaantumisen jälkeen. Laitetta käytetään, kunnes se vikaantuu, jolloin kutsutaan kunnossapitohenkilöstöä korjaamaan vika ja palauttamaan laite toimintakuntoon. Korjaavan kunnossapidon käytöstä ei ole mahdollista luopua kokonaan, sillä aina ei ole mahdollista ennakoida ja ehkäistä laitteen hajoamista. Monesti korjaavaa kunnossapitoa käytetään, koska ei ole tarvittavaa tietoa laitteen toiminnasta, jotta kunnossapitotoimia voitaisiin tehdä ennakoidusti. Korjaavan kunnossapidon käyttö voi olla perusteltua, mikäli laitteen vikaantuminen ei aiheuta suuria kustannuksia eikä haittaa, vaikka laite olisi vian takia pitkäänkin toimintakyvytön. Tällöin ei kannata uhrata rahaa laitteen kunnossapitoon ennen vikaantumista. [15, s. 51] Lisäksi korjaava kunnossapito voi olla järkevää, mikäli ei ole tiedossa ennakoivan kunnossapidon toimenpiteitä, joilla laitteen vikaantumista voidaan ehkäistä. Tällöin on tärkeää keskittyä varautumaan laitteen vikaantumiseen ja hiomaan toimintaprosessi vian sattuessa tehokkaaksi. Mikäli laitteen kunnossapito perustuu ainoastaan korjaavaan kunnossapitoon, ei laitteeseen kohdisteta ollenkaan kunnossapitoa ennen laitteen vikaantumista. Joissakin tapauksissa tosin korjaavan kunnossapidon käynnistäjänä voi toimia varsinaisen vian sijaan myös havaittu turvallisuusriski.

Korjaavan kunnossapidon käyttöä tulisi kuitenkin harkita, sillä se voi aiheuttaa huomattavia kustannuksia laitteen toimimattomuuden takia sekä huoltohenkilöstön kustannusten takia, mikäli joudutaan yllättäen ottamaan ulkopuolinen taho korjaamaan vika ilman kunnollista kilpailutusta. Lisäksi mikäli kunnossapitoon ei ole varauduttu kunnolla, voi tarvittavien varaosien ja materiaalien hankinta vian ilmaantuessa olla hankalaa. [15, s. 51] Korjaavassa kunnossapidossa olennaista on mitoittaa materiaali- ja henkilöstöresurssit oikein. Ilman ennakkointia vikoja tulee esiintymään, jolloin varaosia ja korjaushenkilöstöä tarvitsee olla helposti saatavilla. Usein sähköverkkoyhtiöt ovat hoitaneet resurssikysymyksen palvelusopimuksilla, jotka takaavat, että materiaalia ja henkilöstöä on saatavilla riittävän nopeasti vian esiinnyttyä. [2, s. 230] Perustamalla jonkin tietyn osan kunnossapito pelkästään korjaavaan kunnossapitoon, hyväksytään samalla, että tietty määrä vikoja tulee esiintymään.

3.1.2 Ehkäisevä ja ennakoiva kunnossapito

Ehkäisevän ja ennakoivan kunnossapidon tavoitteena on estää komponenttien vikaantuminen ja ylläpitää niiden suorituskykyä. Tavanomaisia ennakoivaan ja ehkäisevään

kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä ovat muun muassa komponenttien puhdistukset, kuntotilan tarkastukset, johtokatuja raivaukset ja laitteiden määräaikaishuollot. [2, s. 228] Ei ole kuitenkaan mahdollista täysin estää komponenttien vikaantumista, joten ennakoivan ja ehkäisevän kunnossapidon rinnalla tarvitaan aina myös korjaavaa kunnossapitoa. [2, s. 230]

Kobbacy ja Murthy kuvaavat kirjassaan *Complex System Maintenance Handbook* ehkäisevän ja ennakoivan kunnossapidon kahtena erillisenä kunnossapidon lajina. Heidän mukaansa ehkäisevä kunnossapito on kunnossapitostrategia, jossa kunnossapitotoimet toteutetaan tietyn ajanjakson välein komponenttien kunnosta riippumatta. Lisäksi laitteita kunnostetaan tarvittaessa niiden vikaantuessa. Ehkäisevää kunnossapitoa voidaan toteuttaa tasaisin väliajoin koko komponentin elinkaaren ajan tai mukauttaa kunnossapitotoimien aikataulutusta komponentin iän mukaan, esimerkiksi lisäämällä kunnossapitoa iäkkäämmille komponenteille. Ehkäisevä kunnossapito ei huomioi laitteiden kuntoa vaan perustaa kunnossapidon ainoastaan aikaan. Tästä johtuen kriittisiä laitteita huolletaan usein liikaa, mikäli kunnossapito on ainoastaan ehkäisevää. Usein kunnossapito-ohjelman mukainen huolto saattaa tulla ajankohtaiseksi, vaikka komponentti olisi täysin kunnossa eikä huoltoa kaipaisi. [15, s.51–52]

Kobbacyn ja Murthyn mukaan ehkäisevään kunnossapitoon perustuvaa kunnossapitostrategiaa luotaessa laitteiden vikaantumiset tilastoidaan ja tilastoa seurataan, jotta saataisiin tietoon, mitä kunnossapitotoimia laitteille kannattaa tehdä ja kuinka usein. Suunnittelun apuna käytetään muun muassa laitteiden huoltohistorioista saatavia keskiarvotietoja laitteiden keskimääräisestä vikaantumistaajuudesta ja korjausajasta. Niiden avulla saadaan tietoa, kuinka usein laite keskimäärin vikaantuu ja kuinka kauan keskimäärin kuluu aikaa vian korjaamiseen. Kyseiset keskiarvot antavat hyvää perustietoa suunnittelun tueksi, vaikka vikaantumisprosessit vaihtelevatkin tapauksittain ja laitteet voivat vikaantua eri syistä. Suunnittelun tukena on myös mahdollista käyttää muita indeksejä kuten keskimääräistä aikaa ennen kuin komponentti vikaantuu ensimmäisen kerran. [15, s.51–52]

Ennakoivaa kunnossapitoa Kobbacy ja Murthy kuvaavat kirjassaan kunnossapitostrategiaksi, jossa kunnossapitotoimet toteutetaan tietyn luotettavuusindeksin saavuttaessa ennalta määritetyn arvon. Ennakoivaa kunnossapitoa toteutetaan usein tapauksissa, jossa laitteesta saadaan jotakin dataa, jota seurataan jatkuvasti tai määräajoin. Seurattavan arvon ylittäessä tietyn raja-arvon, suoritetaan kunnossapitoa laitteen palauttamiseksi alkuperäiseen tilaansa tai tilaan, jossa seurattava arvo on hyväksyttävällä tasolla. Ennakoiva kunnossapito vaatii sekä teknologiaa että ihmisten taitoa. Kunnossapidon ajoittamiseen käytetään yhdistelmää saatavilla olevasta datasta muun muassa laitteen suorituskyvystä, huoltohistoriasta ja laitteen kriittisyydestä. Kaikkea tätä käytetään ongelman havaitsemiseen, analysoimiseen ja korjaamiseen, ennen kuin se aiheuttaa vian. Ennakoivan kunnossapidon käytöstä voi aiheutua kuluja strategiaa käyttöön otettaessa hankittaessa teknologiaa, jolla saadaan hankittua tarvittava data, rekrytoitaessa henkilöstöä

suunnittelemaan ohjelman ja koulutettaessa henkilöstöä toteuttamaan strategiaa. Kuitenkin yleensä ennakoiva kunnossapito mahdollistaa laitteen vikaantumisten vähentämisen parantaen siten tehokkuutta ja toisaalta vähentämällä tarpeetonta kunnossapitoa. [15, s. 52]

Järviö näkee kirjassaan Kunnossapito ehkäisevän kunnossapidon hieman eri tavalla. Hänen mukaansa ehkäisevää kunnossapitoa voidaan tehdä tietyn aikataulun mukaisesti, esimerkiksi kerran vuodessa vuosihuolto, jatkuvasti, esimerkiksi työvälineiden puhdistus jokaisen työvuoron jälkeen tai tarpeen mukaan, esimerkiksi tietyn parametrin ylittäessä raja-arvon. Myös hänen mukaansa ehkäisevän kunnossapidon tavoitteena on ennakoida laitteeseen kohdistuvia kunnossapitotoimia siten, että laitteen vikaantumisen tai toimintakyvyn merkittävän heikkenemisen todennäköisyyttä pystytään pienentämään ja laitteen toimintakyky saadaan palautettua vaaditulle tasolle. [16, s. 72] Järviön määritelmä ehkäisevästä kunnossapidosta on ikään kuin yhdistelmä Kobbacyn ja Murthyn ennakoivasta ja ehkäisevästä kunnossapidosta pitäen sisällään käytännössä kaikki kunnossapitotoimet, joilla pyritään estämään laitteen vikaantuminen.

Ennakoivan tai ehkäisevän kunnossapidon käyttäminen voi olla perusteltua, kun komponentilta vaaditaan luotettavaa toimintaa. Esimerkiksi sähköaseman päämuuntaja on niin kriittinen komponentti, että sen kuntoa kannattaa seurata tarkasti ja toteuttaa kunnossapitoa mahdollisimman tehokkaasti ennakoiden. Ehkäisevää ja ennakoivaa kunnossapitoa voidaan kuitenkin säädellä komponentin kriittisyyden mukaan siten, että sallitaan tietty todennäköisyys komponentin vikaantumiselle, mutta toteutetaan kunnossapitoa hieman vähemmän. Ehkäisevässä ja ennakoivassa kunnossapidossa on tärkeää aina optimoida kunnossapitoon kuluva taloudellinen panostuksen ja komponentin toimintavarmuuden ja suorituskyvyn kohentumisen tuottaman tuotoksen välillä. Esimerkiksi sähköaseman päämuuntajan kunnossapitoon kannattaa todennäköisesti panostaa enemmän kuin esimerkiksi yksittäisen jakelumuuntajan kunnossapitoon, sillä päämuuntajan vikaantumisella on huomattavasti jakelumuuntajan vikaantumista suuremmat vaikutukset. Lisäksi päämuuntaja on komponenttina huomattavasti jakelumuuntajaa kalliimpi, joten niiden varastoiminen vikatilanteiden varalle on myös jakelumuuntajia kalliimpaa. Ehkäisevää kunnossapitoa kannattaa Järviön mukaan toteuttaa silloin, kun siitä aiheutuvat kustannukset ovat pienemmät kuin sen puutteen aiheuttamat menetykset ja kun on olemassa ennakkohuoltotoimenpide, jolla tietty vika voidaan estää. [16, s. 73]

Ehkäisevän kunnossapitostrategian luomisessa voidaan hyödyntää kokemuspohjaista tietoa koneen aiemmista vikaantumisista, tietoa varaosista ja niiden käyttömääristä, tietoa koneen ja sen osien toimintatavasta sekä koneen valmistajan suosituksia. Näillä pyritään estämään aiemmin esiintyneiden vikojen uusiutuminen. Riskinä kuitenkin piilee ohjelman ylimitoittaminen ja tehottomien menetelmien käyttö. Valmistaja saattaa varmuuden vuoksi tahattomasti liioitella hieman komponentin kunnossapito-ohjeita laatiessaan, jotta laite toimisi paremmin ja varmemmin, sillä sille ei aiheudu suoranaisia kustannuksia ylimääräisestä kunnossapidosta. Lisäksi valmistaja saattaa tarjota huolto- ja

varaosapalveluita, joiden myyntiä se haluaa edistää. Myös komponenttia käyttävä yritys saattaa vaatia komponentilta suurempaa luotettavuutta kuin olisi turvallisuuden ja laadun kannalta tarpeellista ja kustannusten kannalta kannattavaa. [16, s. 75] Joissakin tapauksissa ylimääräinen kunnossapito saattaa jopa heikentää laitteen luotettavuutta, mikäli kunnossapito edellyttää esimerkiksi laitteen purkamista ja kokoamista uudelleen. [16, s. 123] Ehkäisevän ja ennakoidun kunnossapidon käytössä on tärkeää löytää kullekin komponentilla keino seurata komponentin kuntoa

Ehkäisevä ja ennakoidu kunnossapito ovat yleensä kannattavia tapauksissa, joissa on selkeästi tiedossa jokin keino pienentää komponentin vikaantumistodennäköisyyttä, kun kunnossapidon suorittamisella voidaan ehkäistä komponentin vikaantumisesta aiheutuvia kustannuksia enemmän kuin kunnossapidosta itsestään aiheutuu kustannuksia ja kun laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa riskejä esimerkiksi turvallisuudelle.

3.1.3 Parantava kunnossapito

Parantavassa kunnossapidossa kunnossapidettävä laite muuttuu kunnossapidon seurauksena. Järviö jakaa kirjassaan parantavan kunnossapidon kolmeen pääryhmään, joista ensimmäisessä kunnossapidon kohde muuttuu kunnossapidon seurauksena, koska kunnossapidossa käytetään alkuperäistä uudempia osia. Laitteen suorituskyky tai luotettavuus ei kuitenkaan tämän seurauksena oleellisesti muutu. Toisen pääryhmän mukaisesti parantavaa kunnossapitoa suoritettaessa laitetta korjataan tai suunnitellaan uudelleen koneen epäluotettavuuden parantamiseksi. Tavoitteena ei siis niinkään ole parantaa laitteen suorituskykyä vaan saada se toimimaan luotettavammin. Kolmannessa pääryhmässä koneen suorituskykyä parannetaan modernisaatiolla. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi, mikäli koneella on vielä käyttöikää jäljellä, mutta sen valmistama tuote alkaa vanhentua, jolloin on kannattavaa romuttamisen sijaan modernisoida kone tuottamaan uutta tuotetta. [16, s. 51]

Parantavaa kunnossapitoa voidaan soveltaa sekä korjaavan että ehkäisevän ja ennakoidun kunnossapidon kanssa. Esimerkiksi tietyn komponentin hajottua voidaan korjaavana kunnossapitona komponentti korvata uudemmalla mallilla, jolla on paremmat ominaisuudet. Vastaavasti ehkäisevän ja ennakoidun kunnossapidon sisältäessä esimerkiksi tietyn komponentin korvaamisen uudella tietyn ajan kuluttua osan kunnosta riippumatta, voidaan osa korvata uudemmalla mallilla, jolla on paremmat ominaisuudet.

3.2 Kunnossapito sähköverkkoliiketoiminnassa

Sähkönjakeluverkossa on paljon erilaisia komponentteja, joten oikean kunnossapitostrategian luomiseksi tiedot komponenttien kriittisyyksistä sekä kunnoista ja ominaisuuksista ovat olennaisia. Komponenteille on kehitetty erilaisia ikääntymismalleja ja verkkoyhtiöillä on omaa käytännön kokemusta komponenttien luotettavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Näiden mallien ja tietojen pohjalta on mahdollista kohdistaa kunnossapitotoimia

verkon komponenteille. Tyypillisiä kunnossapitotoimia ovat muun muassa ilmajohto-verkon johtokadun ja sen lähiympäristön raivaus, keskijännitteisille maakaapeleille eristysvastus ja osittaispurkauksimittaukset ja sähköasemien komponenteille kuten virtakiskoille ja kaapelipäätteille säännölliset kuntotarkastukset esimerkiksi silmämääräisinä tarkastuksina ja lämpökuvauksina toteutettuna. [2, s. 230]

Sähköverkkoliiketoiminnan sääntelyssä eli regulaatiossa otetaan kantaa kunnossapitoon hyvin vähän. Johtoalueen ulkopuolisen puuston käsittely on huomioitu regulaatiossa toimitusvarmuuskannustimessa, joskaan se ei varsinaisesti ole verkon kunnossapitoa. Muuten regulaatio ei suoraan puutu kunnossapitoon [8, s. 94–99]. Laatukannustin toki kannustaa verkkoyhtiöitä parantamaan sähkönjakelun laatua ja laadun parantamisessa kunnossapidolla voi olla merkittäväkin rooli. Suoranaisesti laatukannustin ei kuitenkaan kunnossapitoa käske tehdä, vaan se jättää valvottavan tehtäväksi päättää millä keinoin laatua parannetaan. [8, s. 66–75] Tehostamiskannustin taas kannustaa tehostamaan toimintoja ja se kannustaakin toteuttamaan kunnossapitoa muun verkkoliiketoiminnan mukaisesti taloudellinen tehokkuus huomioiden [8, s. 76–79]. Muutoin regulaatiossa pääpaino on tällä hetkellä enemmänkin investoinneissa kuin kunnossapidossa.

Sähkölaitteistojen kunnossapidolle on asetettu tiettyjä lakiin kirjattuja vaatimuksia. Sähköturvallisuuslain pykälässä 6 kerrotaan seuraavasti:

”Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;*
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;*
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.*

Jos sähkölaitte tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön.” [17]

Tämä pykälä ottaa selvästi kantaa verkkoyhtiön sähkölaitteiston käyttöön ja huoltoon asettaen hyvinkin tiukkoja vaatimuksia erityisesti turvallisuuteen liittyen. Siihen, kuinka määräykset toteutetaan, ei kuitenkaan tässä kohtaa oteta kantaa. Sähköturvallisuuslain pykälä 48 vaatii sähkölaitteistojen huollolta ja kunnossapidolta seuraavaa:

”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteiston haltija vastaa siitä, että kunnossapito-ohjelmaa noudatetaan. Kunnossapito-ohjelmaa laadittaessa tulee ottaa huomioon sähkölaitteiston käyttöympäristöstä aiheutuvat tarpeet.” [17]

Pykälässä 48 mainittu luokan 3 sähkölaitteisto on pykälässä 44 määritelty olevan ”verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko.” [17] Täten pykälä 48 koskee

sähköverkkoja. Sähköverkoille on siis luotava kunnossapito-ohjelma, jolla varmistetaan, että sähköturvallisuus ylläpidetään. Tämä on määräyksenä jo hieman pykälää 6 tarkempi, mutta ei kuitenkaan kerro miten kunnossapito-ohjelma varsinaisesti toteutetaan ja mitä siihen pitää sisällyttää. Ohjelman suunnittelun tämä jättää verkonhaltijan vastuulle, mutta se vaatii, että verkonhaltija vastaa, että ohjelman avulla kyetään säilyttämään laitteiston sähköturvallisuus ja että ohjelmaa noudatetaan.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä ottaa myös kantaa sähköverkkojen kunnossapitoon. Päätöksen pykälässä 2 kerrotaan, että *”verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muuta vastaavaa sähköverkkoa”* kuvataan luokan 2 sähkölaitteena. [18] Osittain samansuuntainen vaatimus kuin sähköturvallisuuslain pykälässä 48 on myös Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä sähkölaitteistojen käyttöönotosta artiklassa 11:

”Sähkölaitteiston suoja-, turva- ja vastaavien järjestelmien määrävälein tehtävää huoltoa vaativien laitteiston osia varten on laadittava ennalta huolto- ja kunnossapito-ohjelma.” [18]

Tässäkään pykälässä ohjelmaan ei erityisemmin oteta kantaa, vaan veloitetaan, että ohjelma täytyy verkkoyhtiöllä olla. Pykälässä 10 kirjoitetaan seuraavaa:

”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että sähkölaitteistossa havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti.” [18]

Tämä pykälä vaatii verkkoyhtiötä puuttumaan sähköverkossaan havaitsemiinsa epäkohtiin, mutta ei ota kantaa tarkasti kuinka nopealla aikataululla epäkohdat täytyy korjata. Tärkeää on, että verkkoyhtiö itse pohtii sopivan aikataulun ja pystyy perustelemaan, miksi valittu aikataulu on kussakin tilanteessa riittävän nopea. Lisäksi pykälä 10 joustaa sen verran, että vikojen ja puutteiden poistamista vaaditaan niiden havaitsemisen jälkeen, eikä heti niiden ilmettyä.

Sähköturvallisuuslain pykälissä 49 ja 50 vaaditaan verkolle suoritettavan ulkopuolisen tarkastajan toimesta määräaikaistarkastuksia määräajoin. Pykälä 49 vaatii, että verkonhaltijan sähköverkolle tehdään määräaikaistarkastus viiden vuoden välein ja että verkonhaltija huolehtii määräaikaistarkastuksesta. [17] Pykälässä 50 vaaditaan:

”Määräaikaistarkastuksessa tulee riittävässä laajuudessa pistokokein tai muulla soveltuvalla tavalla varmistua siitä, että:

- 1) sähkölaitteiston käyttö on turvallista, kunnossapito on riittävää turvallisuuden ylläpitämiseksi ja laitteistolle on tehty kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet;*
- 2) sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä;*

3) *sähkölaitteiston laajennus- ja muutostöistä on asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat.*

*Määräaikaistarkastukseen on aina sisällytettävä kohteessa mahdollisesti olevat lääkin-
tätilat, räjähdysvaaralliset tilat ja palovaaralliset tilat.” [17]*

Määräaikaistarkastuksesta ei anneta tarkempia sisältövaatimuksia, mutta kerrotaan mi-
hin tarkastuksilla pyritään ja mitä tarkastuksilla pitäisi pystyä huomaamaan.

Sähköverkkojen kunnossapitoa koskeva lainsäädäntö asettaa kunnossapidolle hyvin
tiukkoja vaatimuksia, mutta ei juurikaan ota kantaa kuinka ja millä toimenpiteillä kun-
nossapitoa tulisi toteuttaa. Tämä antaa verkkoyhtiöille vapauksia suunnitella itse melko
vapaasti kunnossapitostrategiansa ja pohtia kunnossapitoa yrityksen strategisena valin-
tana asettamalla kunnossapidolle ainoastaan vähimmäisvaatimukset. Ratkaisut ja lin-
jaukset, joita kunnossapitostrategiassa ja -ohjelmissa tehdään voivat olla hyvinkin eri-
laisia eri verkkoyhtiöiden välillä, mutta niiden tulee olla perusteltuja ja täyttää laissa
asetetut vähimmäisvaatimukset.

4. KESKIJÄNNITEVERKON EROTTIMET JA AUTOMAATIO

Keskijänniteverkko sisältää suuren määrän kytkinlaitteita, joista osa sisältää kaukokäytösmahdollisuuden. Kytkeinlaitteilla on merkittävä rooli muun muassa sähköverkon vikatilanteiden vaikutusten rajoittamisessa sekä verkon huoltotöiden turvallisessa toteutuksessa. Esimerkiksi verkkokatkaisijat mahdollistavat, ettei vikatilanne näy osalle asiakkaista ollenkaan, erottimilla saadaan kytkettyä sähköt terveille verkonosille, vaikka viankorjaus olisi vielä kesken ja jännitetyöriipuilla saadaan rajattua huoltotyön vaatima keskeytys pelkästään huollettavalle komponentille. [2, s. 151–152] Automaatio keskijänniteverkossa mahdollistaa kytkinlaitteiden nopeamman ohjauksen ja joissakin tapauksissa joitakin diagnostisia tietoja, joita voidaan käyttää esimerkiksi vikojen paikantamiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi verkkokatkaisijalta saatava vikavirran arvo ja erottimelta saatu tilatieto, joka kertoo ohjauksen onnistumisesta. Tässä työssä käsitellään vain keskijänniteverkossa olevia erottimia sekä niihin liittyvää automaatiota, ja muut kytkinlaitteet jätetään käsittelyn ulkopuolelle.

Suurin osa keskijänniteverkon sisältämistä kytkinlaitteista on erottimia. [2, s. 151–152] Erottimilla saadaan muodostettua turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muiden verkonosien välille. Tämä mahdollistaa turvallisen työskentelyn erotetulla verkonosalla sekä vikojen vaikutusten rajaamisen erottamalla viattomat johdot viallisista. [3, s. 191–192] Täten erottimia käyttämällä pystytään lyhentämään asiakkaiden kokemien keskeytysten pituutta. Kaikilla katkon kärsineillä asiakkailla katko ei välttämättä kestä koko vian korjausaikaa, vaan sähköt saadaan kytkettyä, kun vika-alue on saatu erotettua. Asiakkaiden kokemien vikakeskeytysten määrään erottimilla ei sen sijaan voida vaikuttaa. Erottimen ohjausaikaan vaikuttaa, onko erotinta mahdollista ohjata kauko-ohjauksella, vai vaaditaanko asentaja paikan päälle erotinta ohjaamaan. Kauko-ohjattavilla erottimilla ohjausaika on tyypillisesti joitakin minuutteja vian esiintymisestä, manuaalisesti ohjattavalla erottimella erottimen sijainnista ja huoltohenkilöstön sijainnista ja valmiudesta riippuen kymmeniä minuutteja. [2, s. 151–152]

4.1 Erottimien rakenne ja toiminta

Erottimien muodostamalta avausväliltä vaaditaan äärimmäistä luotettavuutta, joten sen on oltava näkyvä tai se on varustettava luotettavalla mekaanisella asennonosoituksella. Lisävaatimuksena on mahdollisuus lukita erotin sekä auki- että kiinni-asentoon, jotta virhekytkentöjä ei olisi mahdollista tehdä. Luonnollisesti vaatimuksena on myös kyky johtaa kiinni-asennossa moitteetta kuormitus ja oikosulkuvirrat, sekä avattuna avausvä-

lin ympäröivää ympäristöä, esimerkiksi vaiheen ja maan välistä eristystä, suurempi jännitelujuus. Yllä mainitut ovat erottimien perustehtäviä ja -vaatimuksia, eikä perinteisiltä erottimilta edellytetä kykyä katkaista tai sulkea virtapiiriä, sillä niitä ei ole tarkoitettu virtapiirien avaamiseen tai sulkemiseen. Useimmiten kuitenkin on mahdollista katkaista muuntajan tyhjäkäyntivirta tai erottaa erottimella lyhyt kiskosto tai johto erotuskyvyn ollessa noin muutaman ampeerin. [3, s. 191–192] Tässä työssä käsiteltävät Elenian keskijänniteverkon erottimet ovat kuitenkin suurelta osin kuormanerotimia, joilta edellytetään myös kykyä katkaista ja sulkea virtapiirejä. Kuormanerotimilla on mahdollista muuttaa verkon kytkentätilannetta ilman jännitteen katkaisemista ja esimerkiksi jakorajojen muutokset onnistuvat kuormanerotimilla kyseisen keskijännitelähdön asiakkaiden huomaamatta. Elenialla erottimia ohjaillaan päivittäin hyvinkin paljon vikatilanteiden hoidon sekä verkon rakennus- ja kunnossapitotöiden johdosta. Lähes kaikki ohjaukset suoritetaan kuormitettuna. Kaikki ohjaukset toteutetaan käytönvalvojan johtamina.

Erottimet voivat olla joko yksi- tai kolminapaisia. Keskijänniteverkon erottimet rakennetaan tyypillisesti suoraan kolminapaisiksi samalle rungolle. Korkeammilla jännitetasoilla erottimet rakennetaan tyypillisesti kolmesta yksinapaisesta yksiköstä. Erottimissa ohjaus tapahtuu yleensä eristävällä tangolla, jota liikuttaa joko moottori tai henkilö. Erottimissa liikkuvat veitset ja kiinteät koskettimet kuljettavat virtaa. Keskijänniteverkon erottimien eristimet valmistetaan yleensä valuhartsista. 110 kV ja jännitetasoltaan sitä suurempien verkkojen erottimet valmistetaan posliinista tai silikonipäällysteisistä komposiittimateriaaleista. [3, s. 192–194]

Kuormanerotimet muodostavat poikkeuksen virtapiirin katkaisussa ja sulkemisessa. Niillä on mahdollista erottimien tavanomaisten tehtävien lisäksi katkaista melko suuria kuormitusvirtoja sekä kytkeä pienehköjä oikosulkuvirtoja. Täten ne ovatkin ikään kuin erottimen ja katkaisijan yhdistelmiä. [3, s. 191–192] Kuormanerotimilla avataan ja suljetaan johtosilmukoita, erotetaan tyhjäkäyviä muuntamoita, kaapeleita ja avojohtoja sekä kuormia. 20 kV johtoa on tyypillisesti mahdollista erottaa noin 80 km, kuormitusvirran ollessa noin 4 A. Johtorengas on mahdollista avata aina kuormanerottimen mitoitusvirtaan saakka. [3, s. 196] Kuormanerotimilla on lisäksi katkaisupiiskoiksi kutsutut apukoskettimet. Katkaisupiiskat avautuvat pääkoskettimien avauduttua muutaman millisekunnin kuluessa ja ne avaa pääkoskettimien avautuessa virittyvä jousi. Apukoskettimien avautuminen tapahtuu nopeasti ja siitä johtuen voidaan tällaisella erottimella katkaista huomattavasti apukoskettimettomia erottimia suurempia virtoja. Tyypillisen katkaisupiiskoilla varustetun erottimen virrankatkaisukyky on noin 15–25 A. Mikäli erotin varustetaan lisäksi sammutuskammioilla, joissa apukoskettimien avautuessa syntyvä valokaari katkaistaan, voi katkaisukyky nousta jopa erottimen mitoitusvirran suuruiseksi, ollen esimerkiksi 400 A. Kiinni ohjattaessa pääkoskettimet sulkeutuvat ensimmäisinä ja jousilaitteen ansiosta nopeammin kuin katkaisupiiskattomassa erotimessa. [3, s. 192–194]

Kuormanerotin on lisäksi mahdollista varustaa varokkeilla. Tällaista erotinta kutsutaan varokekuormanerottimeksi. Varokekuormanerottimia käytetään pääosin jakelumuuntamoilla. Tällöin ne voivat toimia selektiivisenä suojauksena muutajavioissa, jolloin sähköasemalla keskijännitelähtöä suojaava suojaus ei joudu toimimaan. Jokaiselle vaiheelle on oma varokkeensa. Muuntajan ei kuitenkaan haluta missään tapauksessa jäävän verkkoon vajaanapaisesti esimerkiksi yhden vaiheen varokkeen toimimisen jälkeen, joten varokekuormanerotimet varustetaan useimmiten vastalaukaisulaitteella. Tämä aiheuttaa kolminapaisen laukaisun yhdenkin varokkeista toimittua, jolloin koko muuntamo irttaa verkosta. Mikäli muuntaja jäisi vajaanapaisesti verkkoon, muodostaisi se riskin ylijännitteiden muodostumiselle. [3, s. 195–197]

Katkaisukammioilla varustetulla kuormanerottimella valokaari voidaan katkaista niin sanotulla kovakaasuefektillä, jolloin valokaari höyrystää sammutuskammioista kaasuja, jotka jäähdyttävät valokaaren sammuksiin. Toinen mahdollinen sammutustapa on autopneumaattinen puhallus, jossa erottimessa aikaansaatu ilmavirtaus jäähdyttää valokaaren sammuksiin. Valokaari on mahdollista sammuttaa myös käyttäen öljyä tai rikkiheksafluoridi, eli SF₆-kaasua. [3, s. 195–197] Usein SF₆-eristeisiä erottimia on puistomuuntamoilla. Tällaiset muuntamokojeistot eli ns. RMU:t (ring main unit) voivat koostua yhdestä yhteisestä kaasutilasta, joka sisältää kaikki muuntamon keskijännitelähdöt tai muuntamolla voi olla kullekin kaapelilähdölle omat itsenäiset kennonsa, jolloin lähtöjä on mahdollista lisätä jälkikäteen. RMU:ssa kuormanerotin ja maadoitusveitset sijaitsevat samassa tilavuudeltaan noin 200–300 litran kaasutilassa, joka on rakennettu teräslävystä. Kaasutilassa on lisäksi jäännöskosteuden ja SF₆-kaasun hajoamistuotteet sitova suodatin ja kaasutiiviit läpiviennit varoke- ja kaapelipäätetiloihin. Kaasutilassa on oltava niin alhainen ylipaine, ettei kaasu nesteydy edes 40 asteen pakkasilla. Yleensä kaasutilassa on noin 20–50 kPa (0,2–0,5 bar) ylipaine. Tällaisilta erotinrakenteilta vaaditaan korkeaa luotettavuutta, sillä kaasutilassa olevia kytkinlaitteita ei ole mahdollista huoltaa. Mahdollinen RMU:n perusversio voisi olla vaikkapa yhteydessä muuntajaan ja kahteen kaapelilähtöön. Tällaisessa tapauksessa muuntamolla on kaksi kuormanerotinta, joilla saadaan erotettua muuntamoon kytketyt keskijännitekaapelit sekä yksi varokekuormanerotin, jolla saadaan erotettua muuntaja verkosta esimerkiksi huoltotöiden ajaksi. Lisäksi jokaisella kaapeli-, ja muuntajalähdöllä on oma oikosulun kytkemiseen kykenevä maadoituserotin. [3, s. 138–139]

Erottimet ovat yleensä joko moottori- tai käsiohjattavia. Käsiohjattavissa erottimissa ohjaus tapahtuu yleensä eristävällä tangolla tai kiinteillä käsiohjauksen tangoilla tai vivuilla. Moottoriohjattuja erottimia on yleensä mahdollista ohjata kauko-ohjauksella valvomosta käsin, paikalliskäytöllä painamalla kytkintä erottimen luona maastossa tai käsikäytöllä. Kauko- ja paikalliskäytöllä ohjauksen suorittaa moottori, käsikäytöllä asentaja. Kauko-ohjauksella erottimelta saadaan yleensä tilatieto, joka kertoo ohjauksen onnistumisesta, esimerkiksi kiinni-ohjauksen jälkeen kertoo erottimen olevan kiinni, mikäli ohjaus on onnistunut. [3, s. 197] Kauko-ohjatun erotinaseman rakenteeseen kuuluu ero-

tinyksikön ja ohjausvarren lisäksi moottoroitu jousi, ohjauselektroniikka, kommunikaatiojärjestelmä ja antenni. Kauko-ohjaus mahdollistaa huomattavasti käsiohjausta nopeamman vikapaikan erottamisen ja varayhteyden kytkemisen. Myös verkon huolto- ja korjaustyöt on helpompaa toteuttaa, kun erottimia saadaan ohjattua valvomosta käsin eikä työn suorituskohteesta tarvitse siirtyä muualle erottimia ohjaamaan. [2, s. 151–152]

Kauko-ohjattavia erottimia rakennetaan erityisesti 110/20 kV sähköasemien välisiin runkojohtoihin, taajamiin, joissa on suuri määrä asiakkaita pienellä alueella sekä paikkoihin, joihin huoltohenkilöstön on hankalaa ja hidasta kulkea. Usein myös yksittäisille vikaherkille johto-osille voidaan laittaa kauko-ohjattavia erottimia, jotta johto olisi helppoa erottaa verkosta vikatilanteissa. Yhdellä erotinasemalla on tyypillisesti kahdesta neljään erotinta kauko-ohjauksen piirissä, joskin asemia, joissa on ainoastaan yksi tai jopa enemmän kuin neljä erotinta esiintyy myös. [3, s. 197]

Erottimilta vaaditaan yleensä suurempaa virtakestoisuutta kuin kytkinlaitoksen suurimmat vika- ja oikosulkuvirrat ovat todellisuudessa. Suomen talvien vuoksi erottimilta vaaditaan myös toimintaa kovilla pakkasilla sekä kykyä murtaa erottimen pinnalle muodostunutta jäätä kiinni- ja auki ohjattaessa. [3, s. 192–194]

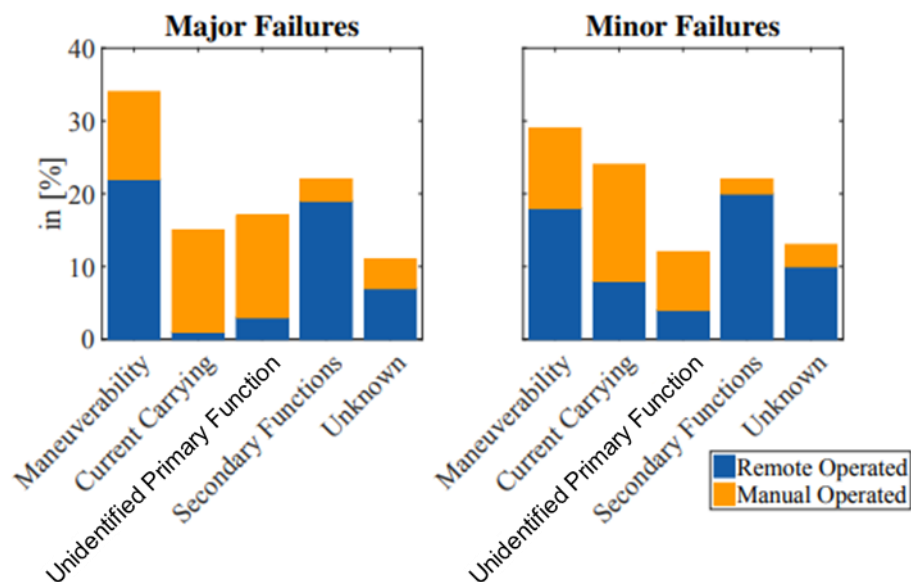
4.2 Erottimien vikaantuminen

Erottimien kunnossapito vaihtelee hyvin paljon erotintyyteittäin. Ilmajohtoverkon erottimet ovat usein rakenteeltaan hyvin avoimia, joten niiden eri osiin ja esimerkiksi niveliin on helppo päästä käsiksi. Tällaiset erottimet ovat lisäksi usein alttiina säälle ja siten vaativat erilaista kunnossapitoa kuin rakenteella suojatut erottimet. Puistomuuntamoiden yhteydessä olevat SF₆-eristeiset erottimet sen sijaan ovat sisällä kaasutilassa, joten niiden laajamittainen huoltaminen pieniä kunnossapitotoimia lukuun ottamatta on usein käytännössä mahdotonta. Tästä syystä tällaiset erottimet rakennetaankin usein huoltovapaiksi. Myös erottimien sekundäärijärjestelmät tuovat eroavaisuuksia kunnossapitotarpeisiin. Esimerkiksi kauko-ohjattavissa erottimissa pitää huomioida myös tietoliikennelaitteiden ja moottorin kunnossapito toisin kuin manuaalisesti ohjattavissa erottimissa.

Ruotsissa Vattenfallin teettämässä tutkimuksessa, jossa tutkittiin erottimien vikaantumisia ja pohdittiin suurelle erotinkannalle mahdollisia kunnon mittaamismenetelmiä, erottimien viat jaettiin viiteen pääryhmään: erottimen mekaaniset viat (maneuverability), virranjohtamiseen liittyvät viat (current carrying), määrittelemättömät primäärijärjestelmän viat (unidentified primary function), sekundäärijärjestelmien viat (secondary functions), ja tuntemattomat viat (unknown). Tutkimuksen kohteena käytettiin Ruotsissa suurta massaa keski- ja suurjännite-erottimia ja aineisto erottimien kunnossapitotarpeista kerättiin vuosien 2008–2015 aikana. Mekaanisilla vioilla tarkoitetaan vikoja, joiden seurauksena erotin ei aukea tai sulkeudu niin kuin sen kuuluisi. Virranjohtamiseen liittyvät viat aiheuttavat sen, ettei erottimen läpi kulkeudu sähkövirtaa. Määrittelemättömiin primäärijärjestelmän vikoihin kuuluvat viat, jotka kuuluvat joko mekaanisiin- tai

virranjohtamiseen tai eristykseen liittyviin vikoihin, mutta joissa viasta tehdystä työtulauksesta ei selviä vian tarkkaa syytä. Sekundäärijärjestelmien vioilla tarkoitetaan erottimen apujärjestelmien kuten esimerkiksi kaukokäyttöjärjestelmän vikoja. Lisäksi viat jaettiin merkittäviin (major) vikoihin ja pieniin (minor) vikoihin. [19, s. 1-2] Merkittävien ja pienien vikojen määritelmät tulevat IEC:n katkaisijastandardista. Merkittävillä vioilla tarkoitetaan erottimen tai sen ohjauslaitteiston vikaa, joka aiheuttaa yhden tai useamman perustoiminnallisuuden lakkaamisen. Merkittävä vika aiheuttaa välittömän muutoksen järjestelmän käyttöolosuhteissa. Pienillä vioilla taas tarkoitetaan muita vikoja kuin merkittävät viat, mukaan lukien rakenteellisten elementtien ja alijärjestelmien viat, joista ei aiheudu merkittävää vikaa. [20, s. 4] Tutkimuksen kohteena olleeseen erottinkantaan kohdistuneista kunnossapitotoimista 70 % oli ennakoivaa kunnossapitoa. Korjaavaa kunnossapitoa aiheuttaneista vioista 43 % löydettiin aikataulutettujen tarkastusten aikana, 43 % suunnittelemattomien kunnossapitotoimien yhteydessä, käytönvalvojat löysivät 13 % vioista ja kolmas osapuoli löysi 1 % vioista. [19, s. 3]

Tutkimuksessa saatuja tuloksia erottimien vikaantumisista on esitetty kuvassa 5.

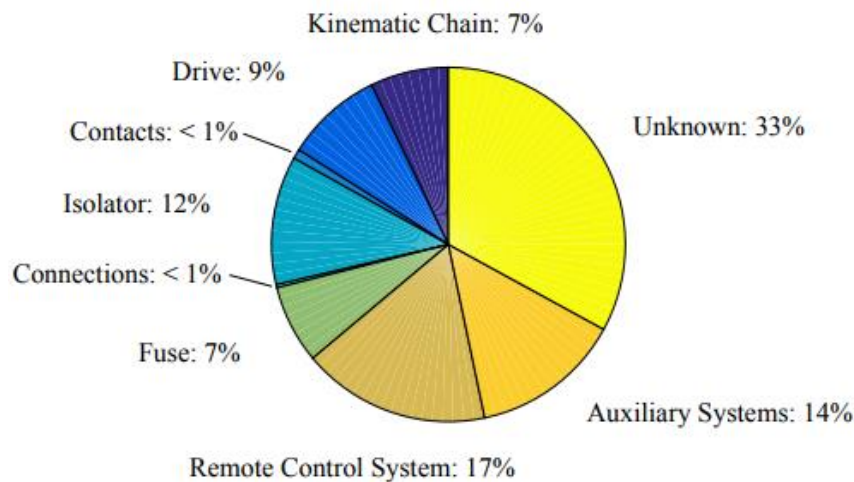


Kuva 5. Vattenfallin tutkimuksessa selvinneet vikojen aiheuttajat. [19, s. 2]

Tutkimuksessa selvisi, että merkittävistä vioista suurin osa, 34 %, oli mekaanisia vikoja. Myös pienistä vioista suurin osa, 29 %, oli mekaanisia vikoja. Pienissä vioissa myös sekundäärijärjestelmien vikojen osuus oli huomattava, 22 %. Tähän vaikutti kuitenkin osittain määrittely, sillä esimerkiksi erotinaseman akuston vaihto luettiin pieneksi sekundäärijärjestelmän viaksi. Tutkimuksesta nousi esiin myös se, että mekaanisten vikojen osuus oli suurempi kaukokäytettävillä erottimilla kuin käsin ohjattavilla erottimilla. Tutkimusaineistoa analysoitaessa kävi myös ilmi, että kaukokäytettävillä erottimilla oli kaksinkertainen määrä merkittäviä vikoja verrattuna käsin ohjattaviin. Eroa selittää kaukokäytettävissä oleva ohjausjärjestelmä, sillä sekundäärijärjestelmien määrän on havait-

tu lisäävän myös vikojen määrää. Määrittelemättömien primäärijärjestelmän vikojen osuus oli kuitenkin 20 % merkittävistä vioista, joten mekaanisten- ja virranjohtamiseen liittyvien vikojen määrä on todellisuudessa hieman suurempi. [19, s. 2]

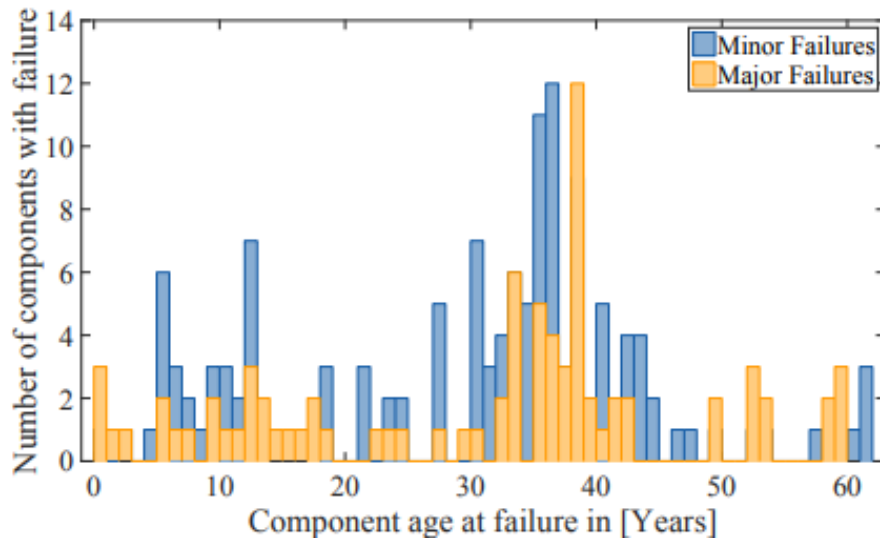
Merkittävien vikojen syitä analysoitiin tutkimuksessa lisäksi vielä hieman tarkemmin. Kuvassa 6 on esitetty merkittävien vikojen osuudet aiheuttajittain erottimien osien tai osajärjestelmien osalta.



Kuva 6. Merkittäviä vikoja aiheuttaneet erottimien osat tai osajärjestelmät. [19, s. 2]

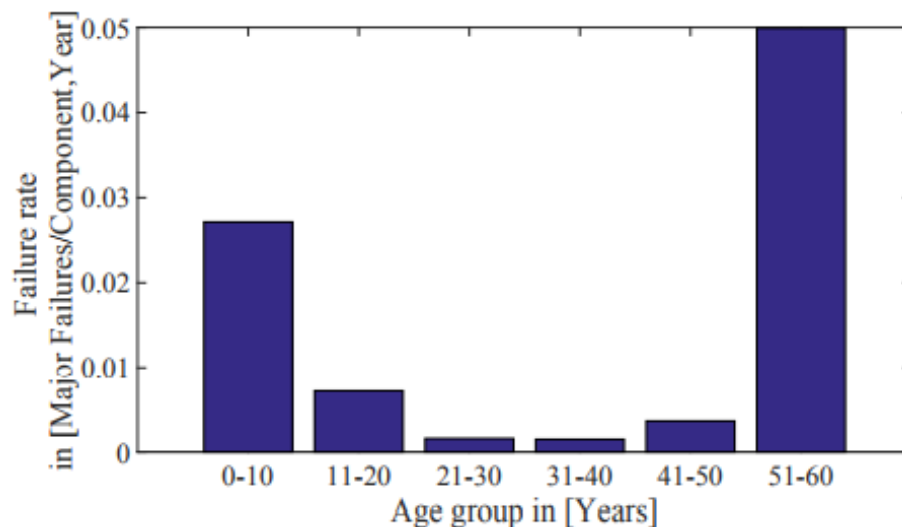
Vioista, joiden aiheuttaja on tiedossa, suurin osa, 17 %, aiheutui kauko-ohjausjärjestelmän vioista. Lähes yhtä paljon vikoja aiheutui myös apujärjestelmien vioista, 14 %, ja eristinvioista, 12 %. Keskenään suunnilleen yhtä paljon vikoja aiheuttivat moottori (9 %), varoke (7 %) ja erottimen ohjaukseen käytettävä nivelistö ja varsisto (kinematic chain), 7 %. Suurin osuus 33 % on kuitenkin vioilla, joiden aiheuttajaa ei ole tiedossa, joten todellisuudessa osuudet ovat hieman erilaiset. [19, s. 2]

Tutkimuksessa havaittiin myös laitteiden iällä olevan vaikutusta vikaantumisiin. Tutkitavassa aineistossa tosin vain 35 %:ssa tapauksista tieto komponentin iästä oli saatavilla. [19, s. 2] Kuvassa 7 on esitetty vikojen jakautuminen eri-ikäisten erottimien kesken.



Kuva 7. Vikojen jakautuminen eri ikäisten komponenttien kesken. [19, s. 2]

Kuvasta nähdään merkittävien vikojen jakautuvan melko tasaisesti 30 ikävuoteen saakka, jonka jälkeen 30 ja 40 ikävuoden välillä esiintyy suurin osa merkittävistä vioista. Tämä tilasto ei kuitenkaan huomioi eri-ikäisten käytössä olevien laitteiden määriä. Paremman kuvan iän vaikutuksista vikaantumisiin saa ikäkohtaisista vikaantumistaajuuksista. Tämä on esitetty kuvassa 8.

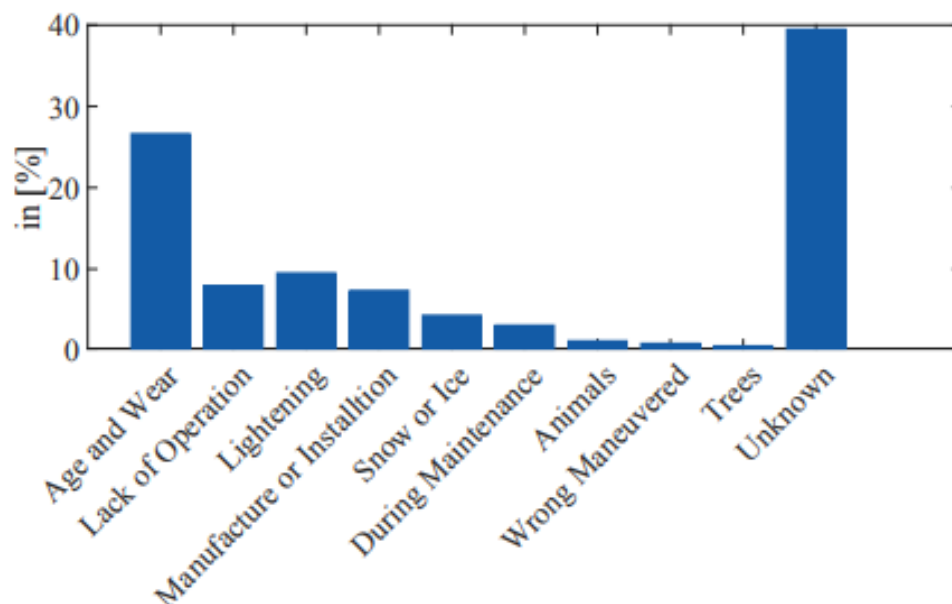


Kuva 8. Vikaantumistaajuus erottimien ikäryhmittäin. [19, s. 2]

Kuvassa pystyakselilla on esitetty merkittävien vikojen vikataajuus yksikössä vikaa yhtä komponenttia kohden vuodessa. Vaaka-akselilla on komponentin ikä. Kuvasta selviää, että vikataajuus on komponentin ensimmäisen kymmenen ikävuoden kohdalla melko korkealla tasolla. Syynä tähän voidaan nähdä ainakin erilaiset ”lastentaudit” ja komponenttien asennus- ja valmistusvirheistä johtuvat viat. Tämän jälkeen vikataajuus pienenee huomattavasti, kunnes se kasvaa selvästi erotinten päästyä 50 vuoden ikään. Tuolloin erottimien kunnossapitoon alkaa mennä huomattavasti enemmän rahaa, joten on syytä pohtia aktiivisempaa ennakoivaa kunnossapitoa tai komponentin uusimista. Ku-

vasta nähdään erottimien vikaantumisten jakautumisen ikäryhmittäin noudattavan niin kutsuttua kylpyammekäyrää.

Tutkimuksessa juuri ikääntyminen ja kuluminen osoittautuivat selkeästi yleisimmäksi merkittävien vikojen aiheuttajaksi. Merkittävien vikojen jakaantuminen aiheuttajittain on esitetty kuvassa 9. [19, s. 2-3]



Kuva 9. Merkittäviin vikoihin johtaneet tekijät. [19, s. 3]

Kuvassa pystyakselilla on esitetty prosentuaalinen osuus kaikista vioista ja vaakakselilla on merkittäviin vikoihin johtaneita tekijöitä. Kuvasta selviää iän ja kulumisen suuren osuuden lisäksi, että myös salamoiden, käytön puutteen ja virheellisen valmistuksen tai asennuksen aiheuttamia vikoja on melko paljon. Hieman vähemmän, mutta vielä huomattava määrä vikoja esiintyy myös lumesta ja jäädästä aiheutuen, sekä huoltojen aikana ilmeten. Näistä ainakin käytön puute sekä valmistus ja asennus ovat sellaisia, joihin on mahdollista vaikuttaa melko pienillä panostuksilla.

4.3 Erottimien kunnossapito

Tutkimuksessa analysoiduista erottimien vioista vain 8,6 %:a aiheutti sähköjakelun keskeytyksen, joten sähköjakelujärjestelmän luotettavuuteen keskeytysten osalta niillä ei ole suurta merkitystä. Erottimilla on kuitenkin niiden toimiessa mahdollista lyhentää asiakkaiden kokemien keskeytysten pituuksia, sillä niillä on mahdollista rajata vika-alueita pienemmäksi ja suunnitellut keskeytykset saadaan hoidettua sujuvammin, kun tarvittavat erottimet toimivat moitteetta. Tästä syystä erottimien kunnossapitoa ei saisi laiminlyödä. [19, s. 3]

Erottimien vioista virrankuljetukseen liittyvät viat voivat aiheuttaa sähköjakelun keskeytyksiä, joten niiden ennakointi on kaikista vioista tärkeintä. Tällaisten vikojen enna-

kointia varten on mahdollista mitata erottimen koskettimien resistanssia. Ongelmaksi tässä koituu kuitenkin se, että resistanssin mittaamista varten erottimen täytyisi olla jännitteetön. Resistanssimittausta varten siis vaaditaan sähkönjakelun keskeytys erottimelle, eikä sitä voida suorittaa jatkuvana kunnonvalvontana. Uudenlainen tapa mitata koskettimien johtavuutta olisi infrapunasensori, jolla saadaan mitattua koskettimien lämpötilaa. Hyödyntäen tällaista sensorointia ja koskettimien läpäisevän sähkövirran mittaamista, voidaan sopivan kertoimen avulla saada laskettua arvo, joka kuvaa koskettimien kuntoa. Tämä metodi ei kuitenkaan ole kovinkaan kustannustehokas, sillä infrapunasensoreita vaaditaan erotinta kohden yhteensä yhdeksän, kolme jokaiselle vaiheelle. Lisäksi kustannuksia aiheuttaa järjestelmän vaatima kommunikaatio. Vaihtoehtoinen, edullisempi toteutus samantyylliselle valvonnalle on lämpökuvaus. Se kuitenkin vaatii huoltohenkilön käymään paikalla suorittamaan kuvauksen. Lisäksi lämpökuvaus vaatii suorittajaltaan enemmän ymmärrystä ja arviointia pohdittaessa minkälainen kuvauksen tulos indikoi erottimen olevan kunnossapidon tarpeessa. Lämpökuvasta hyödynnettäessä on myös tärkeää selvittää, kuinka usein kuvaus kannattaa suorittaa [19, s. 3]

Vaikka erottimen mekaaniset viat eivät sähkönjakelun keskeytystä aiheutakaan, ovat ne heti seuraavaksi merkittävimpiä erottimien vikoja. Kaukokäytettäviä erottimia avaavan ja sulkevan moottorin toimintaa seuraamalla ja siitä tietoja keräämällä saadaan parhaiten seurattua erottimien mekaanista kuntoa. Mittaamalla moottorin ottamaa virtaa ja erottimen ohjautumiseen kuluva energia saadaan määritettyä erottimen vaatima liikeenergia. Tällä tavoin saadaan ennakoitua erottimen moottoriin sekä ohjainvarsiin ja niveliin tulevia vikoja. Liike-energian määrittäminen vaatii kuitenkin ylimääräisiä toiminnallisuksia kauko-ohjauslaitteistolta, jotka voivat aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia. Lisäksi liike-energiatiedon saamiseksi erotinta on ohjattava. Myös erottimen ohjainlaitteiston sisäinen lämpötila voi indikoida vikaa ohjainlaitteistossa. Edullisempia tapoja seurata erottimen mekaanista kuntoa ovat esimerkiksi edellisen ohjauksen päivämäärä, jonka avulla voidaan ennakoida muun muassa erottimen käyttämättömyydestä johtuvia vikoja sekä ohjaukset viimeisimmän huollon tai tarkastuksen jälkeen ja ohjausten kokonaismäärä, joilla voidaan ennakoida erottimen kulumisesta aiheutuvia vikoja. Näiden seuraaminen ei vaadi ylimääräisiä sensoreita tai ohjelmistoja, vaan data on saatavissa käytöntukijärjestelmästä. Ohjausenergiaa on myös mahdollista mitata voimamittarilla erottimen tarkastuksen yhteydessä, mikäli erotinta ei ole varustettu sen mittaukseen tarkoitetuilla sensoreilla. Tämä on edullisempi keino ohjausenergian mittaamiseen ja sopii erityisesti käsin ohjattaville erottimille. Siten on kuitenkin mahdollista saada tarkkoja arvoja käsin ohjattavien erottimien ohjausenergiasta pelkän asentajan käsittelyn sijasta. [19, s. 3] Muille osille kuten varokkeille ja eristimille voidaan soveltaa silmämääräisiä tarkistuksia. Visuaalisilla tarkastuksilla pystytään arvioimaan ja huomaamaan muun muassa erottimien rakenteen heikkouksia, korroosiota, halkeamia ja eristimien kuntoa. [19, s. 3]

4.4 Elenian laitekanta

Elenialla keskijänniteverkon erottimia on sekä ilmajohto- että maakaapeliverkossa. Maakaapeliverkon erottimet sijaitsevat pääosin puistomuuntamoilla, joskin verkossa on myös erottimia esimerkiksi kiinteistö ja kivitornimuuntamoilla sekä joitakin erottimia, jotka ovat suojattuna samanlaisella rakenteella kuin puistomuuntamot. Ilmajohtoverkon erottimet ovat pääosin pylväserottimia, eikä niitä ole suojattu rakenteella. Ilmajohtoverkossa muuntamoilla on usein erotin, jolla muuntaja saadaan erotettua keskijänniteverkosta esimerkiksi korjaustyön ajaksi. Puistomuuntamoilla voi olla muuntajaerottimen lisäksi myös linjaerottimia, joilla saadaan erotettua muuntamolle eri suunnista tulevat kaapelit toisistaan. Ilmajohtoverkossa erottimia on muuntamoiden lisäksi erotinasemilla, joissa voi olla yksi tai useampia erottimia. Käytännössä kaikki Elenian keskijänniteverkon erottimet ovat kuormanerottimia.

Elenian rakentamisohjeen mukaisesti keskijänniteverkkoa rakennettaessa taajama-alueilla kaapeloiduissa rengasverkoissa runkojohdon puistomuuntamot varustetaan erottimilla molempiin syöttösuuntiin. Haja-asutusalueilla kaapeloidussa keskijänniteverkossa erottimia voidaan rakentaa harvemminkin. Tällöin kaapeloidussa keskijänniteverkossa saa kahden erottimen välillä olla joko yksi nimellisteholtaan yli 200 kVA muuntamo tai maksimissaan 200 kVA nimellistehon edestä muuntamoita. Erotin on kuitenkin rakennettava sopivaan verkon solmupisteeseen, mikäli erottimien välille on suunniteltu keskijänniteverkkoa yli viisi kilometriä. Kauko-ohjattavia erottimia keskijännitteiseen kaapeliverkkoon rakennetaan jakeluverkon solmupisteisiin ja niiden sijoittamisessa huomioidaan verkon tavoitetilä, eri kytkentätilanteiden joustava käyttötoiminta sekä yhteiskunnan kannalta tärkeät kohteet. Haja-asutusalueilla kaapeliverkkoon rakennetaan kauko-ohjattavia erottimia 10 kilometrin välein tai joka toiselle erottimelle. Ilmajohtohaarat, jotka jäävät ilmajohdoiksi korvausinvestointien yhteydessä, varustetaan erottimilla ja kohteen vikaherkkyyden perusteella päätetään, rakennetaanko erotin kauko-ohjattavana. [21] Elenian verkon rakennustavasta johtuen keskijänniteverkon erotinten määrä tulee jatkossa kasvamaan. Erityisesti rakenteella suojattuja maakaapeliverkon erottimia tullaan rakentamaan lisää huomattavasti.

Elenian keskijänniteverkossa on verkkotietojärjestelmään dokumentoituna noin 53000 erotinta. Elenian erotinkannasta muutamia perustietoja on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Perustietoa Elenian erotinkannasta

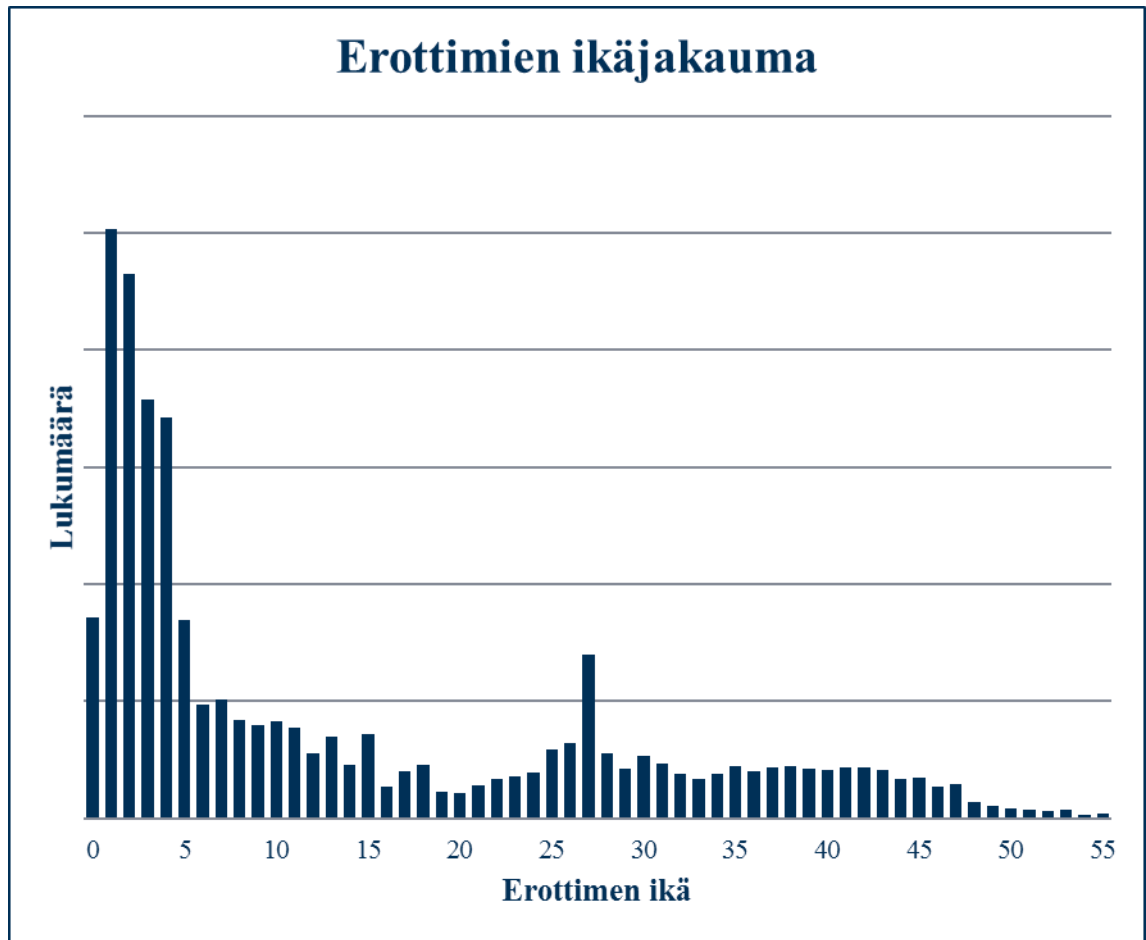
| | Lukumäärä |
|---------------------------------------|------------------|
| Erottimet | 53000 |
| Kauko-ohjattavat erottimet | 6000 |
| Manuaalisesti ohjattavat erottimet | 48000 |
| Rakenteella suojatut erottimet | 25000 |
| Pylväserottimet | 15000 |
| SF ₆ -eristeiset erottimet | 15000 |
| Ilmaeristeiset erottimet | 25000 |

Taulukossa lukumäärät on esitetty pyöristettyinä lähimpään tuhanteen. Taulukosta nähdään, että erottimista kauko-ohjattavia on noin 6000 ja loput noin 48000 ovat manuaalisesti ohjattavia. Lukemissa on mukana kaikki keskijänniteverkkoon kytketyt erottimet sisältäen muun muassa puistomuuntamoilla ja ilmajohtoverkossa sijaitsevat kuormanerottimet, muuntamoiden yhteydessä olevat muuntamon erottamiseen verkosta käytettävät muuntajaerottimet sekä puistomuuntamoilla sijaitsevat maadoituserottimet. Erottimet ovat keskimäärin alle 15 vuotta vanhoja.

Keskijänniteverkon erottimista ainakin noin 25000 on Elenialla rakenteella suojattuja. Näistä suurin osa sijaitsee puistomuuntamoilla, joskin mukana on myös muun muassa kiinteistömuuntamoilla, kivitornimuuntamoilla ja puistomuuntamoiden kaltaisissa muuntajattomissa rakennuksissa. Rakenteella suojattujen erotinten määrä tulee kasvamaan huomattavasti lähivuosina mittavien maakaapelointien ja valitun verkon rakentamisen seurauksena. Rakenteella suojatuista erottimista noin puolet on kauko-ohjattavia. Ilmajohtoverkossa olevia pylväserottimia on ainakin noin 15000. Näistä ainakin noin joka seitsemäs on kauko-ohjattavia. Lisäksi verkossa on alle 15000 erotinta, joiden tyyppiä ei ole tiedossa. Nämä sisältävät sekä rakenteella suojattuja että ilmajohtoverkon pylväserottimia.

Elenian keskijänniteverkon erottimista suurin osa on tällä hetkellä ilmaeristeisiä. SF₆-kaasueristeisiä erottimia on noin 15000 kappaletta. Lisäksi verkossa on joitakin tyhjiöeristeisiä erottimia. Myös eristeaineen osalta tuntemattoman tyyppin erottimet sisältävät sekalaisesti eri eristeaineita, vaikka suurin osa todennäköisesti ilmaeristeisiä onkin. Eristeaineiden osalta tulevaisuudessa SF₆-eristeisten erottimien lukumäärä tulee kasvamaan huomattavasti.

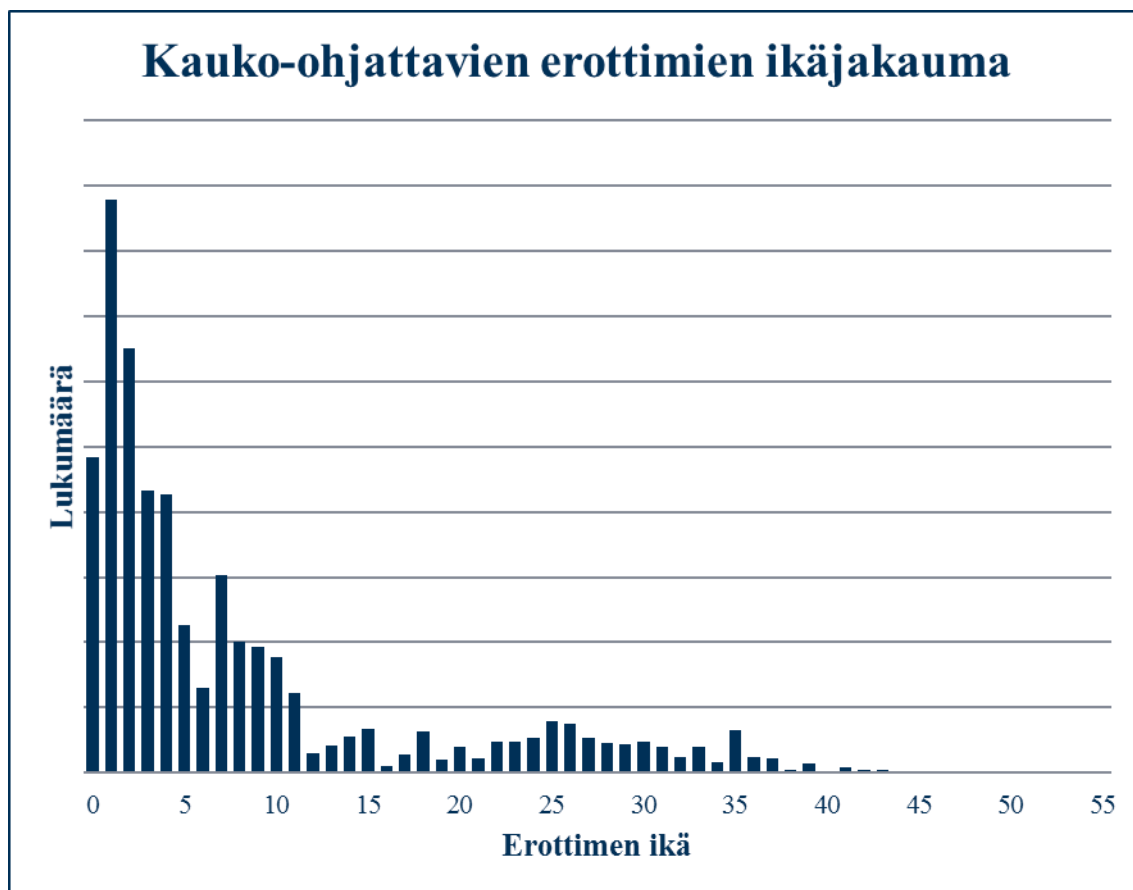
Elenian keskijänniteverkossa on hyvin eri-ikäisiä erottimia. Erottimien ikäjakauma on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Erottimien ikäjakauma.

Kuvasta nähdään, että suurin osa erottimista on alle kymmenen vuoden ikäisiä ja erottimien määrä laskeekin melko tasaisesti iän noustessa. Ainoastaan 27-vuotiaiden erottimien kohdalla voidaan havaita selkeä piikki. Tämä saattaa kuitenkin johtua dokumentointivirheestä. Syynä ikäjakaumaan voidaan pitää Elenian massiivista investointiohjelmaa, jonka mukaisesti se panostaa huomattavasti säävarman sähköverkon rakentamiseen. Säävarmaa verkkoa rakennettaessa verkkoon rakentuu huomattavasti uusia erottimia, kuten verkon rakentamisohjeessa aiemmin kerrottiin ohjeistettavan. Verkon maakaapeloinnin lisäksi Elenia on viime vuosina investoinut voimakkaasti myös ilmajohtoverkon kauko-ohjattaviin erottimiin, joka myös osaltaan vaikuttaa erottimien ikäjakaumaan.

Kuvassa 11 on esitetty kauko-ohjattavien erottimien ikäjakauma.



Kuva 11. Kauko-ohjattavien erottimien ikäjakauma.

Ikäjakauma muistuttaa hyvin vahvasti kaikkien erottimien ikäjakaumaa. Ainoana erona kaikkien erottimien ikäjakaumaan voidaan nähdä se, että kauko-ohjattavia erottimia ei ole niin vanhoja kuin Elenian erotinkannan vanhimmat erottimet ovat.

Erottimien ikäjakaumat kertovat, että erottimien määrä on kasvussa. Jonkin verran erottimia myös purkautuu rakennusohjelman myötä, mutta lukumäärä on kasvussa, sillä puistomuuntamot, joissa voi muuntajaerotin lisäksi olla useita erottimia korvaavat pylväsmuuntamoita, joiden ainoa erotin on muuntajaerotin. Lisäksi rakennusohjelman myötä purkautuvat kauko-ohjattavat erottimet sijoitetaan muualle saman projektin alueella, joten niiden määrä ei vähene käytännössä ollenkaan.

Erottimia on dokumentaation mukaan yhteensä 28 eri valmistajalta. Selkeästi eniten on ABB:n ja Strömbergin valmistamia erottimia. Nämä voidaankin tietyllä tapaa lukea yhdeksi kokonaisuudeksi suomalaisen Strömbergin siirryttyä vuonna 1986 ruotsalaisen Asean omistukseen ja Asean yhdistettyä sähkötekniset liiketoimintansa vuonna 1988 sveitsiläisen Brown Boverin kanssa muodostaen ABB:n [22]. Tästä johtuen useita erottimille on erottimen iästä riippuen sekä Strömbergin että ABB:n valmistamina. Näiden osalta dokumentaatio on myös paikoin virheellistä sisältäen jonkin verran Strömbergin valmistamiksi dokumentoituja erottimia, joiden valmistajan pitäisi iän ja tyyppin

perusteella olla ABB ja toisin päin. Muita suosittuja erotinvalmistajia ovat Siemens AG, Schneider-Areva, VEI Power Distribution S.p.A ja Pohjoismaainen Sähkö Oy.

Erottimia on dokumentaation mukaan 149 eri tyyppiä. Vaikka osa eri tyypeistä on esimerkiksi tietyn mallin päivitetty versio ja siten toiminnaltaan ja kunnossapidon näkökulmasta hyvin samankaltainen, on eri mallien määrä silti valtava. Eniten on Safering SF6 tyyppien erottimia, joskin melko lähellä ovat lukumäärällisesti myös NPS 24 B 101, SafePlus CC, NAL 24 ja OJUP 3-24A400. Kaikki edellä mainitut erotintyypit ovat ABB:n tai Strömbergin valmistamia.

Eri laitetyyppien ja -valmistajien suureen määrään johtaneina tekijöinä voidaan pitää sitä, että verkkoa on rakennettu pitkän ajan kuluessa, joten komponentit ovat hyvin erikäisiä. Myös Elenian historialla on oma osuutensa suuressa laitetyyppimäärässä. Elenia on muodostunut suuresta määrästä pieniä paikallisia sähköyhtiöitä, jotka ovat hankinneet komponentteja hyvin erilaisilla periaatteilla. Hiljalleen eri erotintyyppien lukumäärä, samoin kuin valmistajienkin määrä todennäköisesti tulee vähentymään. Elenialla on laitehankinnoista sopimuksia, joiden mukaan hankitaan tietyn tyyppisiä komponentteja, sen sijaan, että jokaisen kohteen kohdalla erikseen pohdittaisiin minkä valmistajan tuote ja mikä tuote hankitaan. Tämä tulee jatkossa helpottamaan myös kunnossapidon suunnittelua laitetyyppien väliset erot huomioiden.

4.5 Kunnossapito Elenialla tähän saakka

Elenialla erottimien kunnossapito on ollut pääosin korjaavaa, joskin myös ennakoivaa kunnossapitoa liike-energian mittauksiin ja akustotesteihin perustuen on tehty jo pitkään. Verkon rakenteen muuttuessa ja toimitusvarmuusvaatimusten tiukentuessa erotinten määrä tulee kasvamaan ja ne tulevat muodostumaan yhä merkittävämmiksi verkon osiksi. Tästä syystä täytyy niiden kunnossapidosta saada tehokkaampaa, toimivampaa ja suunnitelmallisempaa.

Elenian sähköverkossa lähes kaikilla kauko-ohjattavilla erottimilla jokaisesta erottimen ohjauksesta tallentuu tieto ohjaukseen vaaditusta liike-energiasta tietokantaan. Ainoastaan niin kutsutut Ajeco- sekä Linak-erotinasemat sekä osa vuodesta 2017 alkaen hankituista SF₆-eristeisistä puistomuuntamoerottimista muodostavat poikkeuksen, sillä niiltä ei ole mahdollista saada liike-energiatietoa. Uusissa kohteissa liike-energian mittausta ei ole käytössä, sillä näissä kohteissa siitä ei ole juurikaan hyötyä. Lisäksi sen puuttuminen mahdollistaa muita toiminnallisuuksia. Näitä erottimia on joitakin satoja. Kerran vuodessa tietokannasta on haettu vuoden ajalta erottimien ohjaamisen liike-energioiden maksimiarvot ja niiden perusteella on tilattu huoltoja erottimille. Tällä tavoin tilatut erotinhuollot on tilattu suoritettavaksi aina seuraavan kalenterivuoden kuluessa. Liike-energian raja-arvot, joiden perusteella huoltoja on tilattu, on määritetty kokemukseen perustuen. Raja-arvoa on säädetty vuosittain saatujen kokemusten perusteella. Liike-energiatiedon hyödyntäminen vaatii sen, että erotinta on ohjattu, sillä liike-energiatiedot

saadaan tietokantaan todellisista ohjauksista. Silloin tällöin on tarkasteltu, onko kauko-ohjattavia erottimia, joita ei olisi ohjattu vuosiin ja joilta ei siten olisi käytettävissä liike-energiatietoja. Tällaisia kohteita ei kuitenkaan tarkasteluissa ole löytynyt. Pääosin kaikilla erottimilla on käytetty samaa liike-energian raja-arvoa huoltoja tilattaessa, joskin joidenkin erottimien kohdalla on noudatettu muista poikkeavaa raja-arvoa esimerkiksi niiden luontaisen jäykkyyden takia. Liike-energian perusteella erottimille tilattava huolto on niin sanottu perushuolto, jolla erotin puhdistetaan, rasvataan ja säädetään, jonka jälkeen urakoitsijakumppani testaa erottimen toiminnan yhteydessä käyttökeskuksen kanssa. Tilatut huollot on dokumentoitu tilattuna huoltona verkkotietojärjestelmään ja huollon jälkeen urakoitsijakumppani on dokumentoinut huollon tehdyksi. Huollettaessa erottimia tehdään perushuolto yleensä kaikille kyseisen erotinaseman tai muuntamon erottimille, mikäli niitä ei ole hiljattain huollettu.

Lisäksi kauko-ohjattavien erotinasemien akustoille on kerran vuodessa tehty akustotestit, joiden perusteella kapasiteettiaan menettäneitä akustoja on vaihdettu uusiin. Erotinasemilla akustot koostuvat useammasta yksittäisestä akusta, jotka kaikki vaihdetaan kerralla. Akustotestien perusteella tilataan akustojen vaihdot erotinasemille pieninä, joka yksikkönä kattaa erottimen yksittäiseen komponenttiin liittyvän pientyön. Myös akustojen vaihdot on tilattu suoritettavaksi seuraavan kalenterivuoden aikana. Akuston vaihdot on tilausvaiheessa dokumentoitu tilatuiksi ja akuston vaihdettuaan urakoitsijakumppani dokumentoi akuston vaihdetuksi. Myöskään akustotestien tekeminen ei ole mahdollista Ajeco- tai Linak-erotinasemilla. Ajeco- ja Linak-kohteita on kuitenkin verkossa melko vähäisesti ja määrä pienenee hiljalleen, sillä uusia kohteita ei enää rakenneta. Käsiohjattaville erottimille ei ole tehty ennakoivaa kunnossapitoa.

Erottimia on tarkastettu määräajoin. Ilmajohtoverkon pylväserottimien tarkastukset on suoritettu kerran neljässä vuodessa ilmakuviin perustuvina tarkastuksina. Rakenteella suojatut erottimet tarkastetaan kerran kuudessa vuodessa. Joitakin erityisesti rakenteella suojattuja puistomuuntamoilla sijaitsevia erottimia saatetaan tarkastaa vuosittain, mikäli kyseinen puistomuuntamo sijaitsee esimerkiksi koulun tai päiväkodin läheisyydessä. Tarkastuksilla havaituille vioille ja puutteille on tilattu korjaukset kerran vuodessa. Vakavista vioista ja puutteista tarkastukset suorittavia urakoitsijakumppaneita on ohjeistettu ilmoittamaan välittömästi.

Eroottimille on tehty korjaavaa kunnossapitoa aina kun erotin on vikaantunut. Tieto erottimen vikaantumisesta tulee useimmiten käytönvalvojilta, jotka huomaavat laitteiden toimimattomuuden suorittaessaan verkon kytkentöjä vikatilanteiden rajaamiseksi, verkon kunnossapitotöiden suorittamiseksi tai uutta verkkoa käyttöön otettaessa. Käytönvalvojalle vikaantuminen voi näkyä esimerkiksi erottimen kauko-ohjauksen epäonnistumisena, asentajan ilmoittaessa epäonnistuneesta manuaalisesti ohjattavan erottimen ohjauksesta tai asiakkaan ilmoittaessa huonolaatuisesta sähköstä. Tällöin on arvioitu, miten erotin on vikaantunut sekä miten kriittisestä viasta on kysymys ja näiden päätelmien perusteella päätetty erottimelle tehtävät toimenpiteet ja korjausaikataulu. Useim-

miten erottimelle on tilattu kunnossapitotyö, jolla erotinta on huollettu tai siihen on vaihdettu jokin komponentti. Kunnossapitotyöt tilataan yksikköteinä ja kyseeseen tulee työyksiköistä lähinnä aiemmin mainitut perushuolto ja pientyö sekä verkostoautomaatiokohteen korjaus, jolla suoritetaan käytännössä erottimen sähköisiin apujärjestelmiin liittyvän toiminnallisuuden korjaus. Mikäli erottimelle päädytään tilaamaan perushuolto, tilataan huolto yleensä kaikille kyseisen erotinaseman erottimille kerralla. Kunnossapitotöiden tullessa kyseeseen, on korjausaikana noin 1-2 kuukautta. Kaikki erottimille tilatut kunnossapitotyöt dokumentoidaan verkkotietojärjestelmään tilausvaiheessa ja kunnossapitotyön valmistuttua urakoitsijakumppani dokumentoi verkkotietojärjestelmään työn tehdyksi. Joissakin tapauksissa on jouduttu uusimaan koko erotin. Mikäli erottimen toiminta ei ole ollut kriittistä tai se on esimerkiksi menossa saneeraukseen lähiaikoina, on erotin voitu ohittaa tai jättää vika korjaamatta. Mikäli erottimen vika on aiheuttanut sähkönjakeluun häiriön, esimerkiksi jakelun keskeytyksen tai verkon sähkönlaadun heikkenemisen, on korjaus tilattu vikatyönä, ja korjausta on lähdetty suorittamaan heti. Korjaus vikatyönä on voinut tulla kyseeseen myös esimerkiksi tilanteessa, jossa kyseistä erotinta tullaan tarvitsemaan kunnossapitotyön aikataulua nopeammin jossakin suunnitellussa työssä tai mikäli myrsky on lähestymässä ja erotin on myrskytilanteissa ollut kriittinen. Vikatöinä tilattuja erottimien korjauksia ei ole dokumentoitu verkkotietojärjestelmään. Mikäli erotin korjataan vikatyönä, voi erotin silti vaatia myös kunnossapitotyön, sillä viankorjauksena komponentti korjataan sellaiseen kuntoon, että se toimii, mutta saattaminen lopullisesti täyteen toimintakuntoon voi vaatia lisäksi esimerkiksi perushuollon. Korjaavan kunnossapidon lisäksi yksittäisinä töinä erottimille on voitu tilata myös muunlaista kunnossapitoa kuin varsinaisia korjauksia. Esimerkiksi erottimen ohjauksampi on voinut olla niin korkealla pylväällä, että sen laskeminen on ollut tarpeen. Myös nämä työt on tilattu samalla tavalla kuin esimerkiksi perushuollot, joten siksi yksittäisinä tilauksina tehdystä kunnossapidosta käytetään jatkossa termiä tarveperusteinen kunnossapito.

5. VIKA- JA KUNNOSSAPITOTIETOJEN ANALYSOINTI

Työtä varten kerättiin saatavissa olevat tiedot keskijänniteverkon erottimille suoritetusta kunnossapidosta ja viankorjauksesta. Tietoja kerättiin käytöntukijärjestelmän keskeytshistoriatiedoista, kumppaneille menneistä erottimien yksittäisten kunnossapitotöiden ostotilauksista, suurempina massatilauksina liike-energiatietojen ja akustotestien perusteella kumppaneilta tilattujen kunnossapitotöiden tilauksilta sekä verkkotietojärjestelmään dokumentoiduista erotinten kunnossapitotöistä. Näistä lähteistä saatiin kattavasti tietoa analysoitavaksi.

Lähes kaikissa Elenian kauko-ohjattavissa erottimissa on kumppanin omistama ja hallinnoima ala-asema. Kyseisten laitteiden kunnossapidon ja valvonnan hoitaa kumppani, joten niiden kunnossapidosta ei ole juurikaan tietoa saatavilla. Näiden kunnossapitoa ei työssä vikaantumistilastojen osalta käsitellä. Lisäksi tilastossa eivät yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta näy tilanteet, joissa erotin tai esimerkiksi jopa koko muuntamo on jouduttu uusimaan, mikäli erotin on vaurioitunut korjauskelvottomaksi. Myös nämä tilanteet jäävät vikadatan osalta työssä käsittelyn ulkopuolelle. Näistä puutteista huolimatta saatiin vikaantumisdataa niin kattavasti, että sitä voidaan käyttää kunnossapito-ohjelman päivittämisen tukena.

5.1 Tarveperusteinen kunnossapito

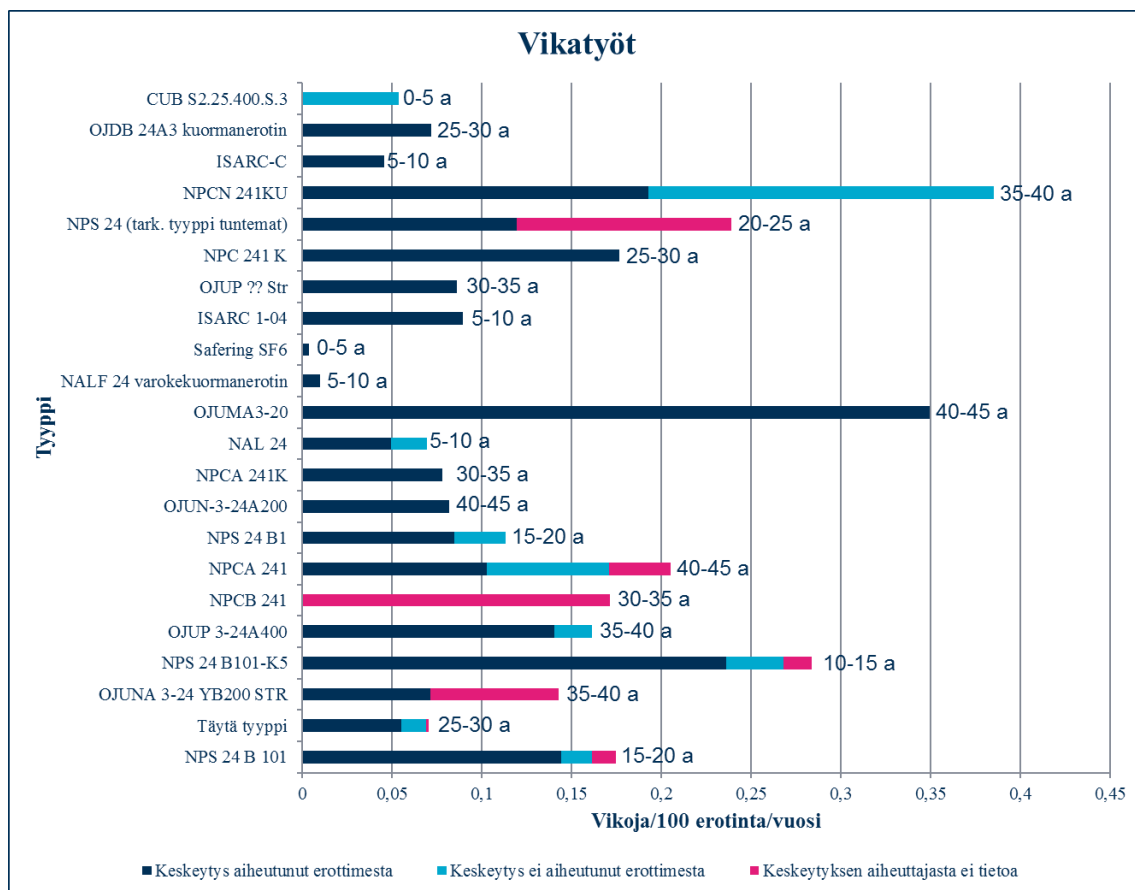
Kuten luvussa 4 kerrottiin, on erottimille tehty korjaavaa kunnossapitoa tarveperusteisesti. Laitteen vikaantumisesta saadun tiedon jälkeen on tarkasteltu, millaisia seurauksia vikaantumisella on. Mikäli seuraukset eivät ole olleet niin kriittisiä, että korjaus voidaan suorittaa vähintään noin kuukauden kuluessa, on korjaus suoritettu kunnossapitotyönä. Mikäli vika taas on vaatinut ripeämpää korjausta, on korjaaminen hoidettu vikatyönä, jolloin sen toteutusaikataulu on ollut kunnossapitotyötä huomattavasti nopeampi. Tarveperusteisesta kunnossapidosta kerätyt tilastot eivät sisällä kaikkia tapauksia, joissa erotin on päädytty uusimaan kokonaan. Tarveperusteinen kunnossapito sisältää korjaavan kunnossapidon lisäksi myös tapauksia, joissa erotin ei ole varsinaisesti vikaantunut, vaan esimerkiksi sen ohjainkampi on alun perin asennettu niin korkealle, ettei sen käyttö ole ollut mahdollista ilman kiipeämistä. Tällaisten tapausten suodattaminen tilastosta täysin ei ollut mahdollista, joten siksi käytetään nimitystä tarveperusteinen kunnossapito korjaavan kunnossapidon sijaan.

5.1.1 Vikatyöt

Vikatöinä hoidetuista erottimien korjauksista löytyi Trimble DMS -käytöntukijärjestelmän keskeytyshistoriatiedoista tietoja 279 yksittäisestä erottimen vikaantumisesta. Elenialla sähkönjakelun keskeytyksistä, mukaan lukien sekä vikakeskeytykset että suunnitellut huoltokatkot, muodostuu aina keskeytys käytöntukijärjestelmään ja nämä keskeytykset raportoidaan keskeytyshistoriaan. Keskeytyksen tietoihin kirjaataan perustiedot keskeytyksestä kuten syy ja mahdolliset kytkinlaitteiden ohjaukset sekä sulakkeiden palamiset. Lisäksi keskeytyksellä voidaan valita erityiskohteeksi vikapaikka, jossa yhtenä vaihtoehtona on erotinvika. Tilastoa varten suodatettiin keskeytyshistoriasta keskeytykset, joissa oli valittu erityiskohteeksi erotinvika. Vanhin vika tilastossa on ollut 1.1.2012 ja uusin 10.8.2017, joten tilasto sisältää vikaantumisia yli viiden vuoden ajalta. Yhteensä vikoja tilastossa on 279 kpl. Keskeytyksistä raportilla ovat sekä vikakeskeytykset että esimerkiksi verkon huoltotöitä varten tehdyt suunnitellut keskeytykset, joiden yhteydessä erotin on vikaantunut tai on huomattu erottimen olevan viallinen. Erotinvikoihin liittyvät vikakeskeytykset ovat voineet aiheutua erottimen vikaantumisesta. Tilastossa on myös vikakeskeytyksiä, jotka ovat aiheutuneet jostakin muusta syystä kuin erottimesta, mutta keskeytyksellä on havaittu myös erottimen olleen viallinen tai vikaantuneen, esimerkiksi vika-alueita rajattaessa pienemmäksi. Vikatöinä hoidettua tarveperusteista kunnossapitoa ei dokumentoida verkkotietojärjestelmään, joten tilasto työtä varten on kerätty käytöntukijärjestelmän keskeytyshistoriatiedoista. Kokonaisuudessaan vikatöinä suoritettua tarveperusteista kunnossapitoa on vuodessa tehty sataa erotinta kohden noin 0,1 työtä vuodessa.

Vikatöinä hoidetuista erottimen korjaamisista 215 on ollut tapauksia, joissa sähkönjakelun keskeytys on aiheutunut erottimesta. Aiheuttajia ovat olleet muun muassa erottimen puutteellinen avautuminen tai sulkeutuminen, erottimen jomppien katkeaminen, erottimen sähkönjohtokykyyn liittyvät ongelmat tai erottimen katkaisupiiskojen tai -kammioiden viat. Nämä ovat vikoja jotka olisi erityisen hyvä pystyä välttämään, sillä näillä on suora vaikutus keskeytystilastoihin ja niistä aiheutuu KAH-kustannuksia (keskeytyksestä aiheutuva haitta). Lisäksi suuri osa tällaisista keskeytyksistä tapahtuu yllättäen, joten niitä ei pystytä suunnittelemaan etukäteen, eikä niistä pystytä viestimään asiakkaille ennakoon. Joissakin tapauksissa viallisen erottimen tunnistaminen vian ilmettyä voi myös olla hankalaa. Tilaston vikaantuneista erottimista 46 oli kauko-ohjattavia ja 166 manuaalisesti ohjattavia. 65 erottimen vikaantumisen kohdalla ei ollut saatavissa tietoa, oliko erotin kauko- vai manuaalisesti ohjattava.

Kuvassa 12 on esitetty vikatöinä suoritettua tarveperusteisen kunnossapidon jakautuminen erotintyypeittäin. Kuvassa on esitetty ainoastaan erotinmallit, joita on verkossa yli 100 kappaletta.

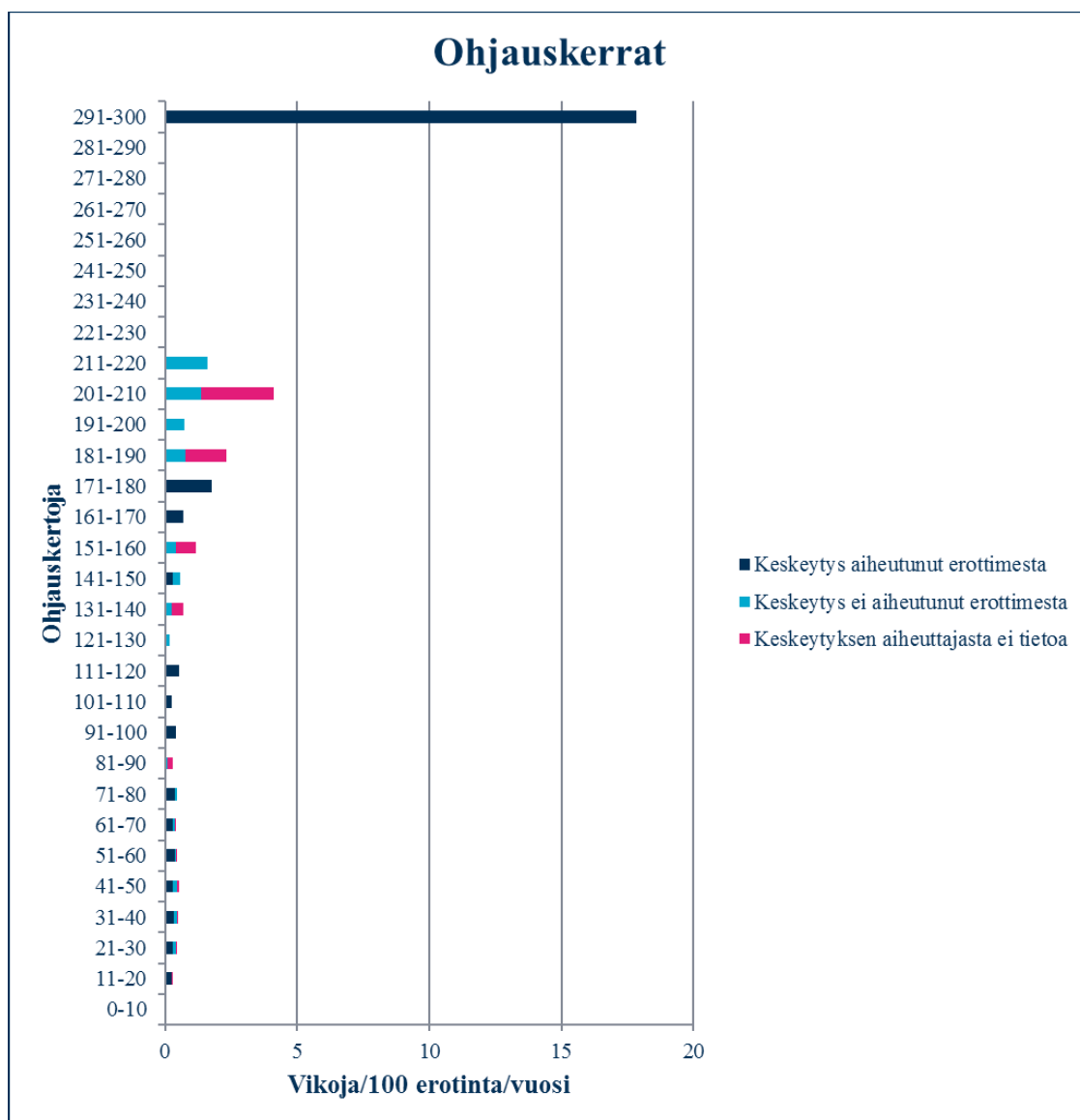


Kuva 12. Vikatöinä suoritettu erottimien tarveperusteinen kunnossapito erotintyypeittäin yhtä erotinta kohden.

Kuvassa pystyakselilla on erotintyyppit ja vaaka-akselilla vikojen lukumäärä vuodessa sataa kyseisen tyypin erotinta kohden. Palkeissa tummansininen väri tarkoittaa vikoja, joissa sähköjakelun keskeytys on aiheutunut erottimesta, turkoosi väri tarkoittaa vikoja, joissa keskeytys ei ole aiheutunut erottimesta ja punainen tarkoittaa vikoja, joissa keskeytyksen aiheuttaja ei ole ilmennyt keskeytyksen tiedoista. Palkkien perässä on kerrottu kyseisen tyypin erottimien keski-ikä. Tyypikohtaisia eroja tarkastellaan erotinten lukumäärään suhteutettuna, koska siten saadaan kattavampi kuva erotinten välisistä eroista. Kuvassa asema tarkoittaa vikoja, joissa vika ei ole varsinaisesti kohdistunut yksittäiseen erottimeen vaan koko erotinasemaan, esimerkiksi tapauksia, joissa pylväserotinasemasta on pylväs katkennut. Ei tietoa tarkoittaa, ettei tilastosta saatu tietoa vikaantuneesta erottimesta ja Täytä tyyppi tarkoittaa, että tieto erottimesta saatiin, mutta erottimelle ei ollut dokumentoitu tyyppiä. Työtä varten kerätyistä tilastoista kävi ilmi, että lukumäärällisesti paljon vikoja ovat aiheuttaneet erityisesti NPS 24 B 101, OJUP 3-24A400, NPS 24 B101-K5 ja NAL 24 erottimet. Kaikki kyseiset erotinmallit ovat ABB:n tai Strömbergin valmistamia ja niitä on lukumäärällisesti paljon. Lisäksi paljon on ollut tapauksia, joista erottimen tyyppi ei selviä. Tarkempi käsitys vikaherkistä erotintyypeistä saatiin juuri tarkasteltaessa vikaantumismääriä yhtä kyseisen tyypin erotinta kohden.

Kuvasta 12 esitetystä sataa kyseisen tyyppin erotinta kohden tehtyjen viankorjausten määrästä on nähtävissä jonkin verran eroja erotintyyppien välillä. Eniten huoltoa vaatineista erotinmalleista NPCN 241KU ja OJUMA3-20 ovat malleina melko iäkkäitä. Nuoremmista erottimista erottuvat selkeimmin NPS24 B101-K5 erottimet, joiden keski-ikä on suhteellisen matala. Kaikki edellä mainitut erotinmallit ovat pylväserottimia. Rakenteella suojatuista erottimista ei ollut vikaantumistaajuuksissa eroja eri mallien välillä.

Kuvassa 13 on esitetty erottimien ohjauskertojen vaikutus vikatöinä suoritettuun korjaavaan kunnossapitoon.

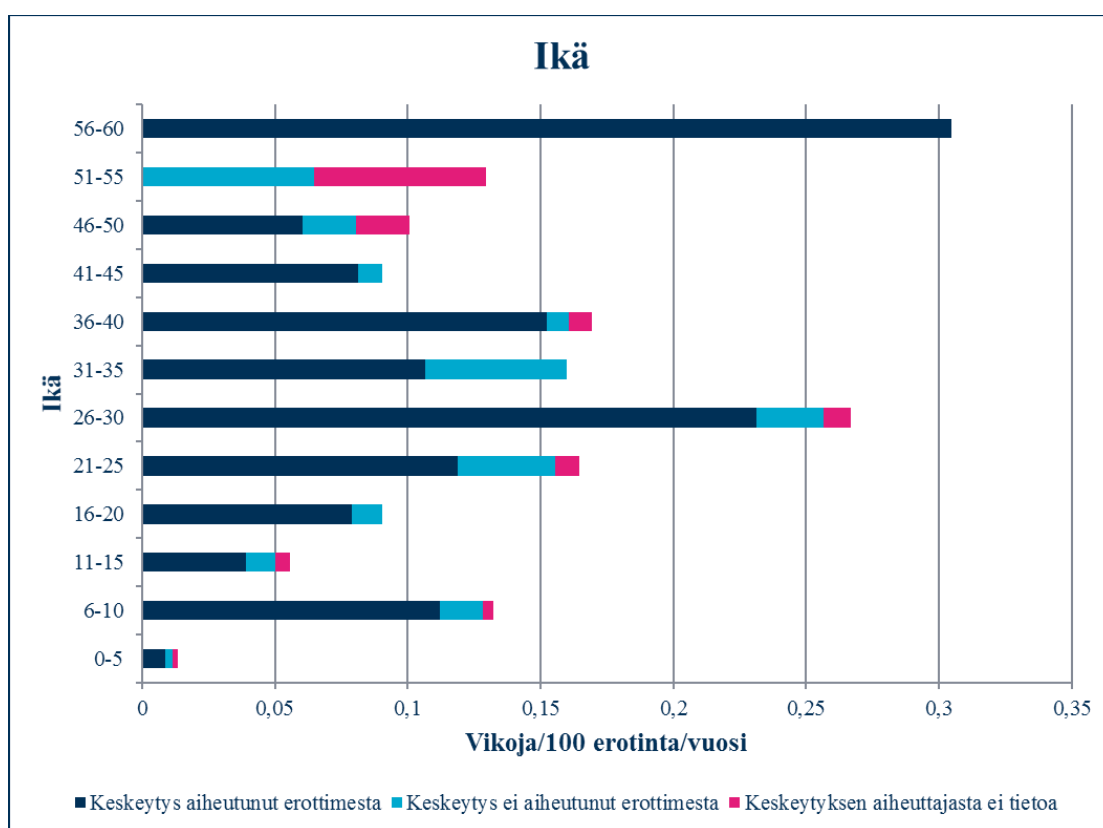


Kuva 13. Vikatöinä suoritettu tarveperusteinen kunnossapito ohjauskerroittain yhtä erotinta kohden.

Ohjauskerrat on haettu käytöntukijärjestelmän tiedoista. Tietoja ohjauksista löydettiin vuodesta 2005 saakka. Ohjauskertojen laskentaa ei ole nollattu missään vaiheessa esi-

merkiksi huollon jälkeen. Tilasto ohjauskertoista ei siis ole huollon aikainen ohjauskertojen määrä, vaan ohjauskertojen määrä on haettu työtä tehdessä. Kuvassa pystyakselilla on esitetty erottimen ohjauskertojen lukumäärä ja vaaka-akselilla on esitetty vikojen määrä sataa kyseisen ohjauskertamäärän sisältämää erotinta kohden vuodessa. Kuvasta huomataan, että vikojen jakautuminen ohjausmäärien välillä on huomattavan tasaista. 291–300 kertaa ohjattujen erottimien vikojen suuri suhteellinen määrä selittyy sillä, että kyseisiä erottimia on ainoastaan yksi kappale koko verkossa. Kuvasta havaitaan muuten, että huoltojen suhteellinen määrä alkaa kasvaa ohjauskertojen kasvaessa yli 150. Tämä viittaisi erottimien jonkinasteiseen kulumiseen käytössä. Toisaalta on huomattava, että erottimien, joita ohjaillaan usein, viat tulevat myös helpommin tietoon, sillä erotin voi toimia suljettuna täysin moitteetta, mutta aiheuttaa vikatyönä hoidettavan vian, kun sitä yritetään avata, mutta erotin aukeaakin vain osittain. Ohjauskertojen kasvaessa huoltojen määrä näyttäisi olevan melko suuri suhteessa siihen, että sataa erotinta kohden on esiintynyt 0,1 vikaa vuodessa. Tämä johtuu siitä, että erottimista huomattavan suuri osa on sellaisia, joita on ohjattu 0-10 kertaa ja niiden vikaantumistaajuus on pieni.

Eroittimen iän vaikutus vikatöinä suoritettun korjaavan kunnossapidon määrään on esitetty kuvassa 14.

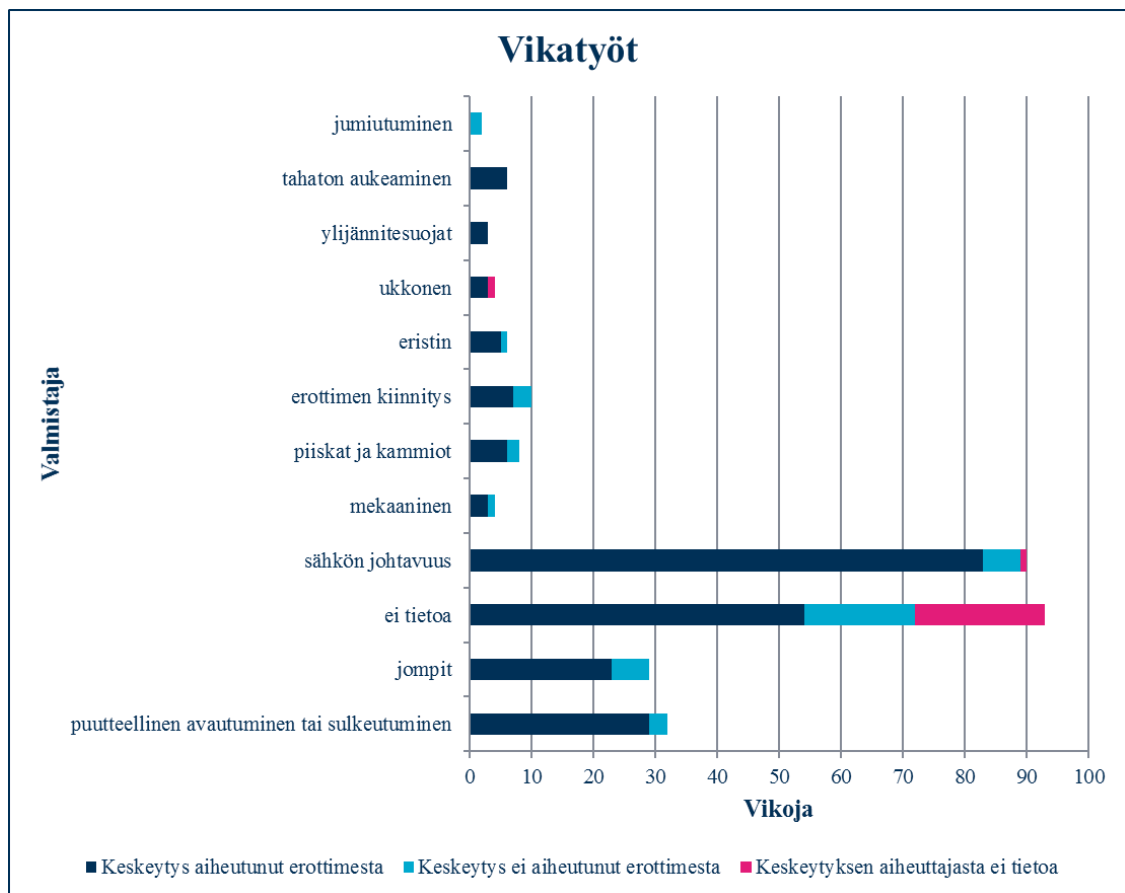


Kuva 14. Vikatöinä suoritettu tarveperusteinen kunnossapito erottimien ikäryhmittäin yhtä erotinta kohden.

Kuvassa pystyakselilla on esitetty erottimen ikä ja vaaka-akselilla on esitetty vikojen määrä sataa kyseisen ikäryhmän erotinta kohden vuodessa. Eroittimien vikaantumismää-

rä kasvaa hiljalleen mentäessä kohti 30 vuoden ikää, jonka jälkeen vikojen määrä alkaa taas hiljalleen pienentyä. Poikkeuksena tähän voidaan nähdä 6-10-vuotiaat erottimet sekä 56–60-vuotiaat erottimet, jotka eivät noudata tätä kaavaa. Erottimien iän vaikutuksesta vikaantumistodennäköisyyteen ei voida vetää kovinkaan tarkkoja johtopäätöksiä. Kuitenkin erottimen ikääntymisellä vaikuttaisi olevan vikaantumistodennäköisyyttä jonkin verran lisäävä vaikutus, vaikka vikaantumistodennäköisyys kääntyykin tietyn iän jälkeen laskuun. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että uudemmat erottimet ovat kaikista vanhimpia erottimia kriittisemmissä verkon paikoissa, joten niitä ohjaillaan myös enemmän. Tästä johtuen myös niiden viat tulevat helpommin esiin.

Erottimien vikaantumista aiheuttavien syiden tunnistamiseksi tilastossa olevat viat jaettiin keskeytykselle kirjattujen tietojen perusteella muutamaan luokkaan. Vikaantumiset syittäin on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Vikatöinä suoritettu tarveperusteinen kunnossapito vikaantumistyypeittäin.

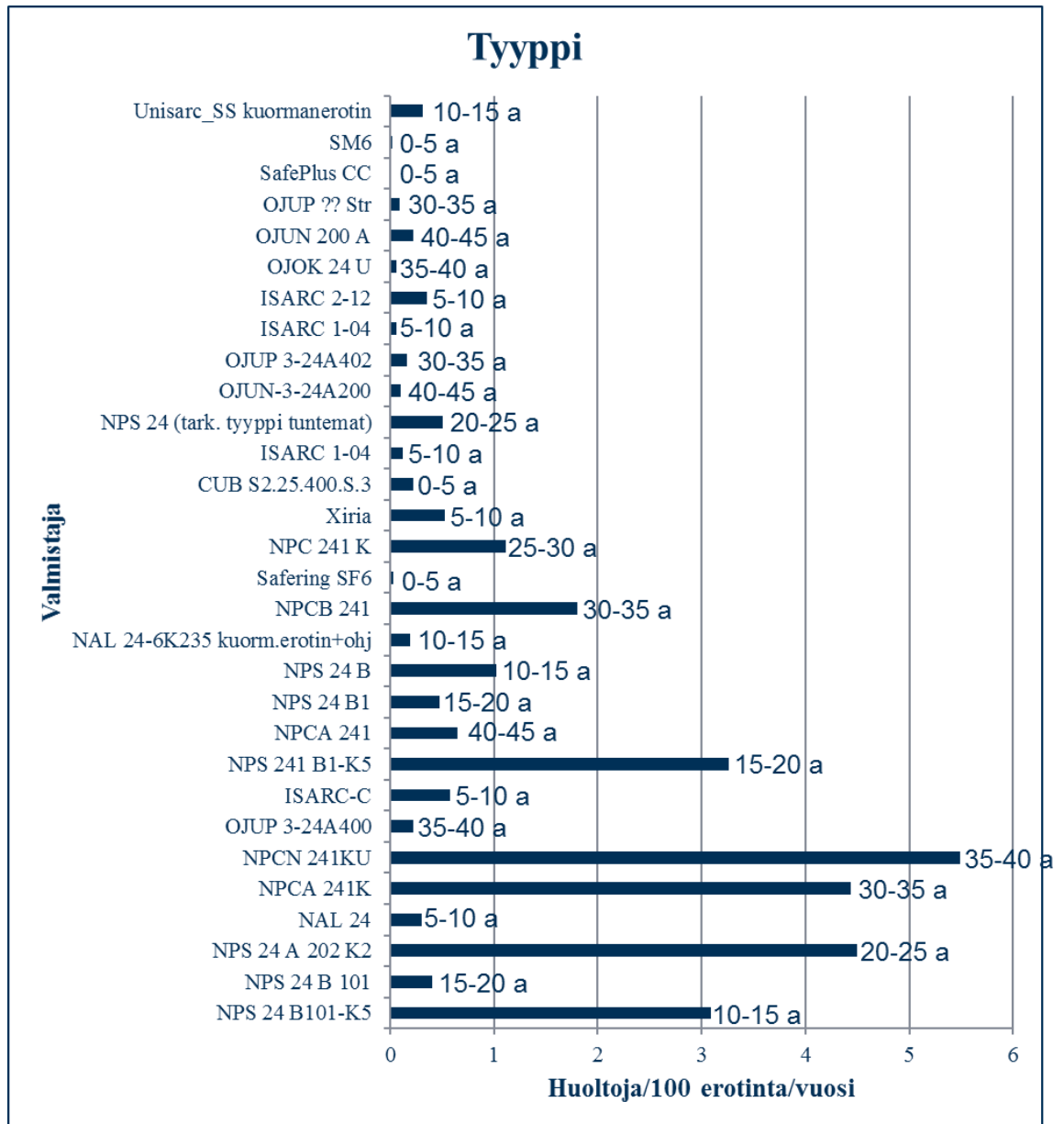
Kuvasta nähdään, että vikaantumisista suurin osa on aiheutunut sähkön johtavuuteen liittyvistä ongelmista. Tämä tarkoittaa vikoja, joissa erotimesta on esimerkiksi kosketin hajonnut ja erotin on johtanut sähköä ainoastaan kahdelta vaiheelta. Muita yleisiä syitä olivat erottimen puutteellinen avautuminen tai sulkeutuminen sekä erottimien jomppien vaurioituminen. Kaikki näistä vikaantumistyypeistä aiheuttavat sähkönjakeluun keskey-

tyksen, joka jatkuu, kunnes erotinta on käyty paikan päällä korjaamassa. Siitä johtuen olisi hyvä pystyä estämään tällaiset vikaantumiset. Osa vikaantumisista on tullut ulkoisista tekijöistä johtuen, kuten ukkosesta tai eläimistä, mutta osa vioista olisi varmasti ollut estettävissä ennakoivalla kunnossapidolla. Vikatöinä suoritettua tarveperusteisen kunnossapidon vähentämiseksi tulisi kiinnittää huomiota erityisesti erottimien mekaaniseen kuntoon. On tärkeää huolehtia, että erottimet avautuvat ja sulkeutuvat ohjattaessa moitteetta ja lisäksi varmistaa, että erottimen kärjet ovat hyvässä kunnossa ja pystyvät johtamaan sähkövirran moitteetta lävitseen. Lisäksi erottimen jomppien kuntoon tulisi kiinnittää huomiota varmistamalla, etteivät ne pääse ainakaan itsestään irtoamaan tai katkeamaan.

5.1.2 Kunnossapitotyöt

Kunnossapitotöinä hoidetusta erottimien korjaavasta kunnossapidosta tietoja löytyi Microsoft Dynamics AX -toiminnanohjausjärjestelmästä. Tilasto on kerätty kumppaneille lähetetyistä työtilauksista. Elenialla kaikki kunnossapitotyöt hoitavat urakoitsijakumppanit ja tiedon hoidettavasta työstä he saavat juuri kyseisillä työtilauksilla. Työtilaukselle kirjataan aina tilauksen sisältämät työyksiköt sekä kuvaus viasta tai huoltotarpeesta saatavissa olevien tietojen perusteella. Tilastoa varten löytyi tietoa 523 yksittäisestä erottimen tai erotinaseman vikaantumisesta. Vanhin vikaantuminen tilastossa on ollut 15.11.2014 ja uusin on 12.7.2017, joten tilasto sisältää vikoja hieman alle kolmen vuoden ajalta. Vioista 405 on kohdistunut kauko-ohjattavaan erottimeen ja 109 manuaalisesti ohjattavaan erottimeen. Lopuissa 9 ei ollut tietoa, onko kyseinen kohde kauko- vai manuaalisesti ohjattava. Kokonaisuudessaan sataa erotinta kohden kunnossapitotöinä hoidettua tarveperusteista kunnossapitoa vaatineita vikoja on esiintynyt noin 0,4 vuodessa.

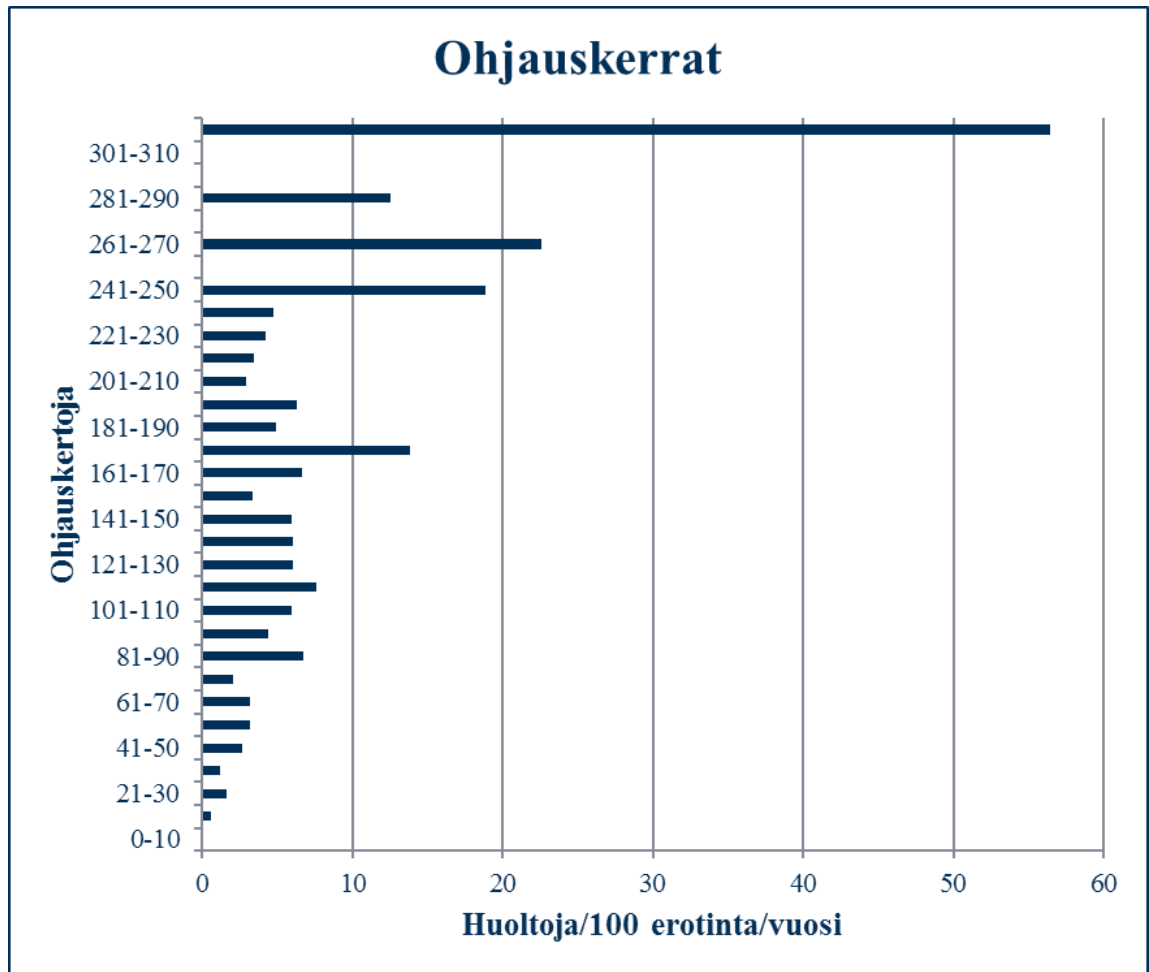
Kuvassa 16 on esitetty erottimen tyyppin mukaan erotinhuoltojen lukumäärä. Kuvassa on erotinmallit, joita on verkossa vähintään 100 kappaletta.



Kuva 16. Kunnossapitotöinä suoritettu tarveperusteinen kunnossapito erotintyypeittäin erotinta kohden.

Kuvasta nähdään, että paljon huoltoa suhteessa erottimien määrään ovat vaatineet NPCN 241KU NPCA 241K ja NPS 24 A 202 K2 -tyypin erottimet. Nämä kaikki ovat pylväserottimia. Näitä tietoja voidaan hyödyntää myöhemmin pohdittaessa kunnossapidon räätälöimistä entistä enemmän laitetyyppikohtaisesti.

Erottimen ohjauskertojen vaikutus kunnossapitotöinä suoritettuun tarveperusteiseen kunnossapitoon on esitetty kuvassa 17.

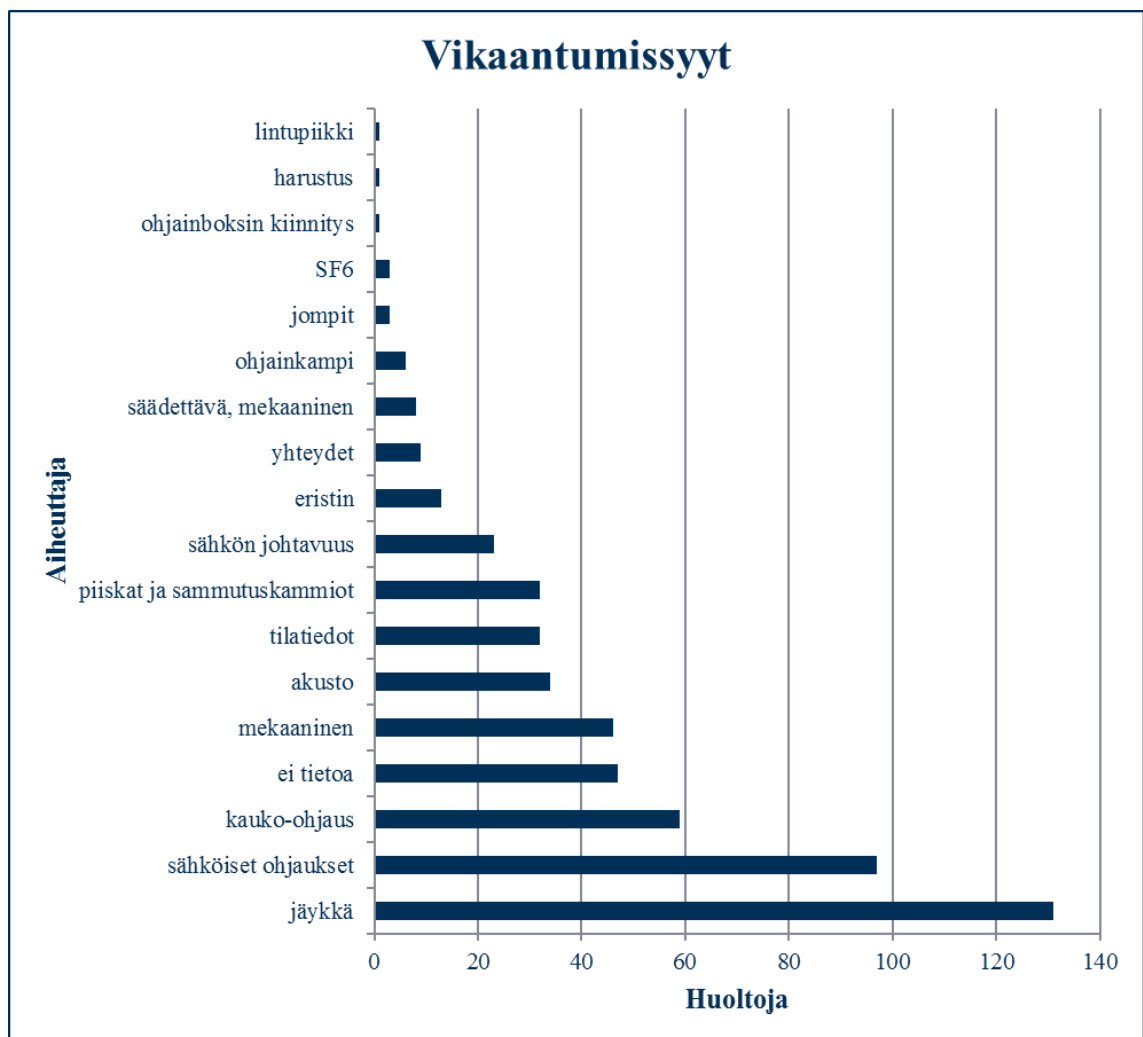


Kuva 17. Kunnossapitotöinä suoritettu tarveperusteinen kunnossapito ohjauskerroittain yhtä erotinta kohden.

Kuvasta nähdään, että eniten kunnossapitotöinä suoritettua tarveperusteista kunnossapitoa yhtä kyseisen ohjausmäärän erotinta kohden ovat vaatineet erottimet, joita on ohjattu paljon. Erottimet, joita on ohjattu vain vähän, ovat vaatineet huoltoja vähiten ja huoltojen määrä erotinta kohden kasvaa hiljalleen ohjauskertojen kasvaessa. Tämän perusteella erottimille vaikuttaisi tapahtuvan jonkinlaista ohjauksien aiheuttamaa kulumista. Alkuun viat erotinta kohden kasvavat jonkin verran, kunnes erotinta on ohjattu noin 90 kertaa. Tähän saakka kulumista vaikuttaisi jonkin verran tapahtuvan. Tästä eteenpäin vikamäärä erotinta kohden on melko tasainen noin 240 ohjauskertaan saakka. Tästä eteenpäin huoltojen määrä erotinta kohden vaikuttaisi kasvavan ohjausten määrän kasvaessa, joskin erottimia, joita on ohjattu yli 240 kertaa, on melko pieni määrä, joten yli 240 kertaa ohjattujen erottimien vähemmän ohjattuja erottimia nopeammasta kulumisesta ei voida kovinkaan tarkkoja johtopäätöksiä vetää. Myös huoltojen jakautumista erottimien iän mukaan tutkittiin, mutta huoltojen määrällä ei vaikuttaisi olevan minkäänlaista ikäriippuvuutta.

Kunnossapitotöiden jakautumista eri aiheuttajien kesken tutkittiin urakoitsijakumppaneille tehtyjen kunnossapitotyötilausten perusteella. Työtilaukselle kirjataan työtä tilat-

taessa saatavissa olevat lähtötiedot tilanteesta sisältäen mahdollisimman hyvän kuvauksen viasta. Joissakin tapauksissa kuvaus viasta tosin joudutaan tilaukselle laittamaan hyvinkin puutteellisenä, esimerkiksi mikäli erottimen toimimattomuus on huomattu käyttökeskuksessa, kun erotinta on yritetty ohjata valvomosta käsin, mutta kukaan ei ole käynyt paikan päällä itse erottimen luona. Työtilauksilta selvisi kuitenkin melko hyvin tietoa vikojen aiheuttajista. Tilastoa kerättiin kunnossapitotilauksille kirjatuista vikojen kuvauksista, sekä urakoitsijakumppaneiden työtilaukselle tai verkkotietojärjestelmään mahdollisesti kirjaamista tiedoista huollon jälkeen. Kuvassa 18 on esitetty kunnossapitotöinä erottimille tehty kunnossapitotoimet syittäin. Kullekin vikaantumiselle on valittu mahdollisimman tarkka kuvaus työtilauksen tietojen perusteella.



Kuva 18. Erottimien vikaantumisyyt.

Sähköiset ohjaukset vikaantumisyyt tarkoittaa, että tilauksella on ollut maininta, ettei erottimen ohjaaminen valvomosta käsin kauko-ohjauksella tai erottimen luona nappia painamalla ole toiminut ja että tieto vähintään erottimen sähköisen paikallisohjauksen toimimattomuudesta lukee tilauksella. Kauko-ohjaus vikaantumisyyt tarkoittaa, että työtilauksella on ollut tieto, ettei kauko-ohjaus ole toiminut. Tilauksella on tieto, että

muuten ohjaukset toimivat, tai ei ole tietoa muiden ohjaustapojen toiminnasta. Mikäli tilauksella on ollut tieto, että paikallinen ohjaus napillakaan ei toimi on vikaantumissyynä sähköiset ohjaukset. Sekä vikaantumissyynä sähköiset ohjaukset että kauko-ohjaus sisältävät varmasti sekä apujärjestelmien, kuten moottorinohjaimen tai tietoliikennelaitteiston vikoja, että erottimien mekaanisia vikoja, joissa sähköisten ohjausten toimimattomuuden on aiheuttanut esimerkiksi erottimen jäykistyminen eikä itse apujärjestelmissä ole välttämättä ollut mitään vikaa. Näissä tilauksilta ei kuitenkaan tarkempaa tietoa löytynyt. Vikaantumissyynä ei tietoa sisällä kaikki vikaantumiset, joista ei selviä tietoa työtilaukselta. Mekaaninen sisältää kaikki vikaantumiset, joissa on tietoa, että vikaantuminen liittyy erottimen mekaaniseen toimintaan, muttei ole tarkempaa tietoa johtuuko vikaantuminen esimerkiksi erottimen jäykkyydestä vai säätötarpeesta. Tilatiedot tarkoittaa vikaantumissyynä erottimen ohjauksen onnistumisesta kertovien tilatietojen, kuten kiinni, välitilassa, auki, toimimattomuudesta. Joissakin tapauksissa vikaantuminen on voinut aiheutua tilatiedon kertovien rajakytkinten vikaantumisesta, mutta tässäkin tapauksessa on myös mahdollista, että vikaantumisen todellinen syy on esimerkiksi erottimen jäykkyydessä, jonka takia erotin ei ohjaudu aivan kiinni asti, mutta kykenee silti johtamaan sähkövirran lävitseen. Piiskat ja sammutuskammiot vikatyypinä tarkoittaa vikaa erottimen piiskoissa tai sammutuskammioissa sisältäen sekä itse komponenttien hajoamiset, myös tilanteet, joissa esimerkiksi piiskat eivät mene kunnolla kiinni, vaikka todellinen syy voikin olla erottimen säätötarve. Sähkön johtavuus vikatyypinä tarkoittaa vikaa, joka vaikuttaa erottimen kykyyn johtaa sähköä tai erottaa virtapiirejä. Esimerkiksi erottimessa voi esiintyä läpilyöntejä erotinta ohjattaessa, mutta se toimii muutoin riittävästi hyvin, jolloin sen korjaus on tilattu kunnossapitotyönä. Säädettävä mekaaninen tarkoittaa vikatyypinä erottimen mekaanista vikaa, jossa tilaukselta käy ilmi, että erotin kaipaa säätöä ongelman korjaamiseksi. Vikojen todellisista aiheuttajista saatiin tilastosta hyvin vähän tietoa, jonka takia jouduttiin tilastoon kirjaamaan viankuvaukset osin laveasti.

Kuvasta nähdään, että suurin osa kunnossapitotöistä, 131 työtilausta, on tilattu erottimen jäykkyyden takia. Myös seuraavaksi yleisimmät syyt sähköiset ohjaukset, kauko-ohjaus ja mekaaninen liittyvät erottimen ohjaamisen estymiseen tai vaikeutumiseen. Nämä kaikki myös liittyvät toisiinsa hyvin vahvasti, sillä tilastoa varten tutkituista työtilauksista ei kaikista käynyt varmasti selväksi kovin tarkasti vikaantumisen syy. Lisäksi mekaaninen, säädettävä tyypin viat vaikuttivat erottimen ohjattavuuteen. Monissa tapauksissa syynä on mekaaninen vika, jonka korjaamiseksi erotin tarvitsee puhdistaa, rasvata tai säätää.

Myös erottimien apujärjestelmien viat ovat olleet melko yleisiä vianaiheuttajia aiheuttaen erityisesti erottimien sähköisten ohjausten toimimattomuutta ja erottimen tilatietojen epäluotettavaa toimintaa tai toimimattomuutta. Nämä viat ovat aiheutuneet usein erotin-aseman akuston huonosta kunnosta, erottimen moottorin tai moottorinohjaimen vikaantumisesta tai asennonosoituksen rajakytkinten hajoamisesta.

Kunnossapitotöinä ja vikatöinä hoidettuun tarveperusteiseen kunnossapitoon vaikuttaisi erottimen ohjauskerroilla olevan vaikutusta vikojen määrän kasvaessa ohjauskertojen kasvaessa. Iällä ei vastaavaa vaikutusta havaittu kunnossapitotöiden osalta, kun taas vikatöinä hoidettujen tapauksien osalta hienoista ikäriippuvuutta oli havaittavissa. Erotintyypeistä selkeimmin erottui NPCN 241KU, joka oli molemmissa tilastoissa eniten vikaantunut erotin. Kunnossapitotöinä hoidetuista vioista suurin osa oli liittynyt erottimen ohjattavuuteen kun taas vikatöinä hoidetuista vioista suurin osa oli liittynyt sähkön johtavuuteen.

5.2 Ennakoiva kunnossapito

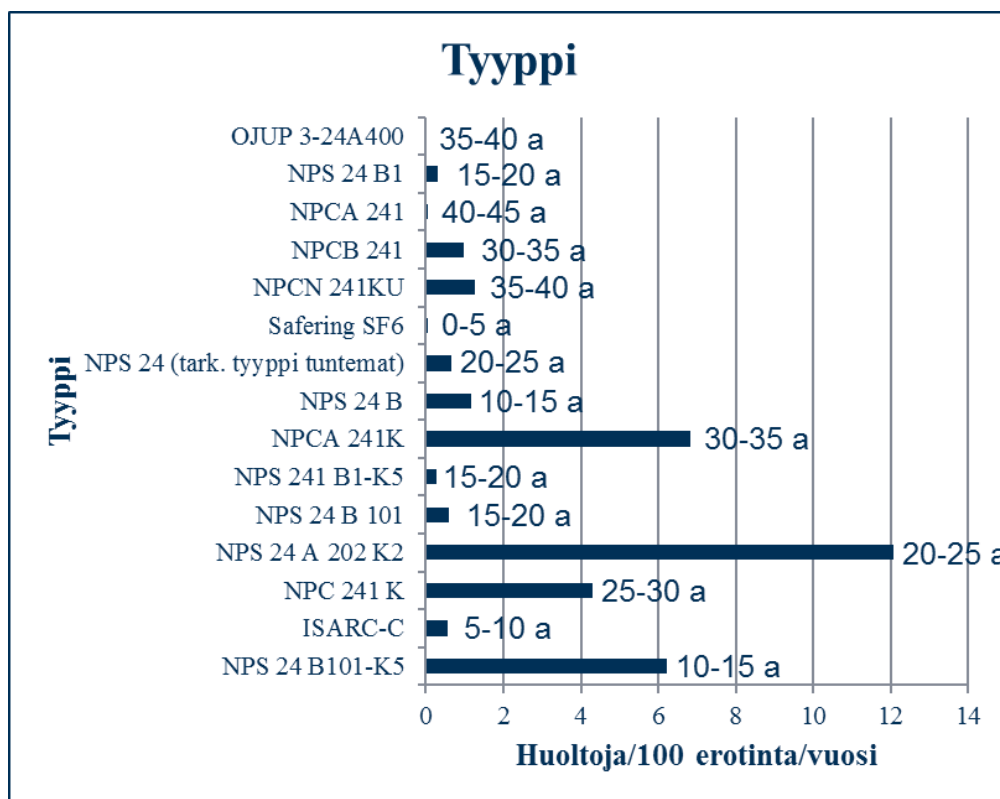
Kuten luvussa 4 kerrottiin, on erottimille ja niiden automaatiolle tehty aiemminkin ennakoivaa kunnossapitoa. Ennakoivaa kunnossapitoa on tehty erottimien ohjauksiin vaadittujen liike-energioiden perusteella sekä erotinasemien akustoille tehtyjen akustotestien perusteella. Ennakoivan kunnossapidon osalta analysoitiin suoritettavaksi vuonna 2014 tilatuista töistä alkaen ja viimeisimmät työt tilastossa oli tilattu suoritettavaksi vuonna 2017. Keskimäärin koko erotinkantaa tarkasteltaessa liike-energian mittauksen perusteella ennakoivaa kunnossapitoa on tehty noin 0,3 huoltoa sataa erotinta kohden vuodessa.

5.2.1 Erotinhuollot

Kauko-ohjattaville erottimille on tehty ennakoivaa kunnossapitoa erottimen ohjaamiseen vaaditun liike-energian perusteella. Liike-energiatiedot on haettu valvomo-ohjelmistosta kerran vuodessa. Saatujen tilastojen perusteella on kerran vuodessa tehty urakoitsijakumppaneille massatilaus, jolla kaikille erottimille, joiden ohjaamiseen vaadittu liike-energia on ylittänyt tietyn raja-arvon, on tilattu perushuolto. Perushuolto on tilattu aina tehtäväksi kaikille kyseisen erotinaseman tai muuntamon erottimille kerralla, vaikka liike-energian raja-arvon olisi ylittänyt ainoastaan yksi aseman erottimista. Tietoja liike-energiatiedon perusteella tehdyistä massatilauksista löytyi vuonna 2013 kyseisen vuoden liike-energiatiedon perusteella vuonna 2014 suoritettaviksi tehdyistä tilauksista aina vuonna 2016 kyseisen vuoden liike-energiatietojen perusteella vuonna 2017 suoritettaviksi tilattuihin töihin saakka. Yhteensä tilasto sisälsi 542 erotinhuoltoa.

Ilmajohtoverkon pylväserottimille on liike-energiamittauksen perusteella tilattu ainakin 499 huoltoa. Rakenteella suojatuille erottimille on liike-energiamittauksen perusteella tilattu ainakin 20 huoltoa. Lisäksi liike-energiatietojen perusteella on tilattu 23 huoltoa kohteille, jotka on todennäköisesti ehditty purkamaan. Kyseisiä kohteita ei löydy enää verkkotietojärjestelmästä, joten niistä ei ole varmuutta, ovatko kyseiset kohteet olleet rakenteella suojattuja erottimia vai pylväserottimia.

Liike-energiatiedon perusteella tilattujen erotinhuoltojen lukumäärät erotintyypeittäin on esitetty kuvassa 19. Kuvassa on esitetty ainoastaan erotinmallit, joita on verkossa yli 100 kappaletta.



Kuva 19. Liike-energian mittauksen perusteella tilatut erotinhuollot erotintyypeittäin yhtä erotinta kohden.

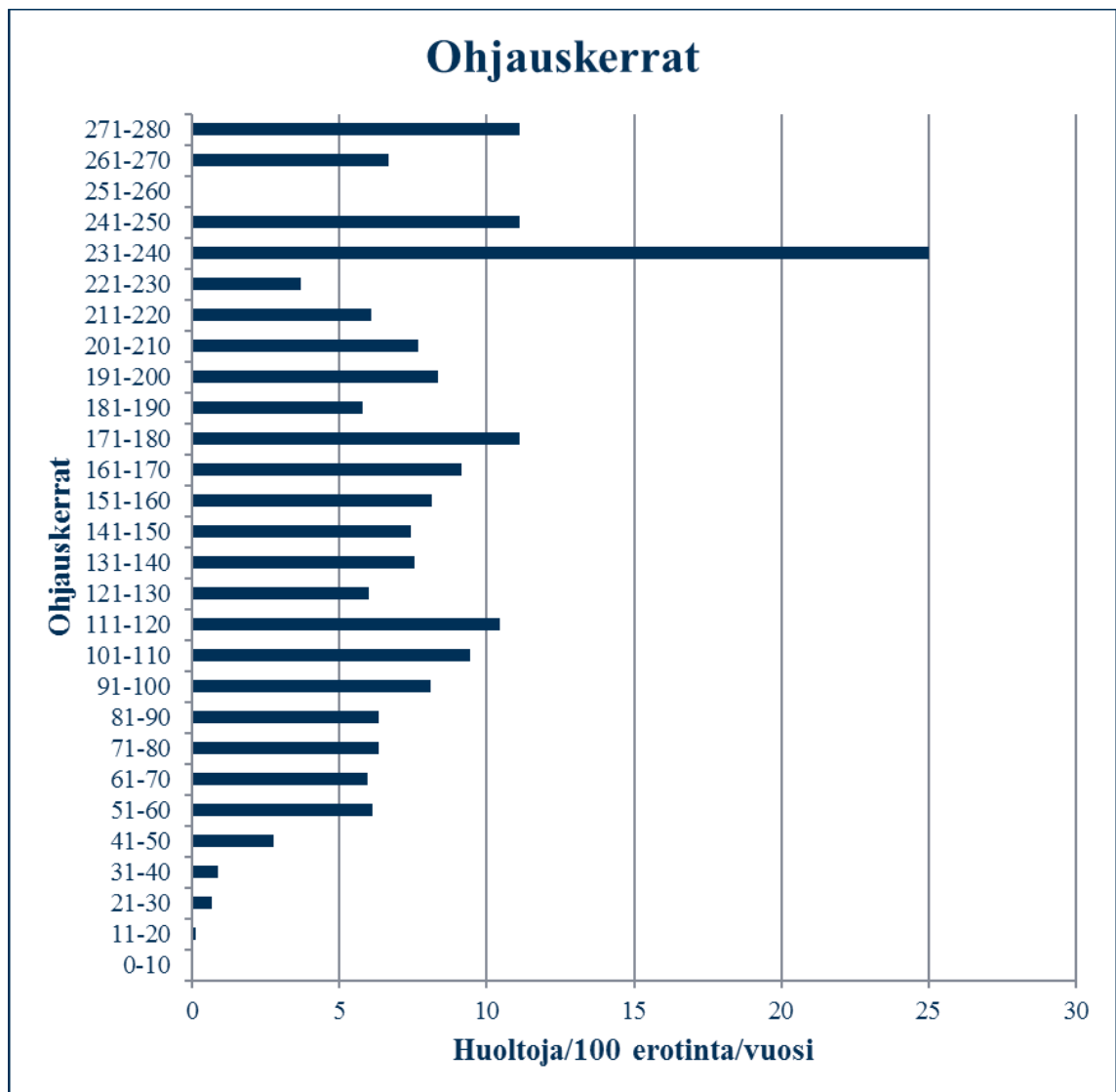
Kuvasta huomataan, että paljon huoltoja liike-energian perusteella on tilattu NPS 24 A 202 K2, NPCA 241K ja NPS 24 B101-K5 -erottimille. Kaikki kyseiset erottimet ovat pylväserottimia.

Rakenteella suojatuille erottimille tilatuista huolloista 13 on tilattu Schneider-Arean valmistamille ISARC-C erottimille. Kyseiset huollot on tilattu suoritettaviksi vuosille 2014 ja 2015. Vuonna 2015 huoltoja suoritettaessa kuitenkin huomattiin, että kyseinen erotinmalli on luonnostaan jäykempi liikkumaan, eivätkä kyseiset erottimet olleet huollon tarpeessa. Todellisuudessa siis liike-energiamittauksen perusteella rakenteella suojattujen erottimien vikoja olisi huomattu vain yksittäisiä tapauksia. Tämä on loogista, sillä liike-energian mittaus kunnonvalvonnassa on kehitetty enemmän pylväserottimien tarpeeseen. Rakenteella suojatut erottimet eivät joudu säiden armoille vaan ne ovat sisätiloissa, eivätkä joudu esimerkiksi niin suuren kosteuden, ulkopuolisen lian ja jään armoille.

Rakenteella suojattujen erottimien liike-energiatietojen perusteella tehtyjen huoltojen vähäisestä määrästä voidaan päätellä, ettei liike-energian mittaaminen ole kovinkaan tehokas keino niiden kunnossapitoon. Lisäksi liike-energiamittauksen perusteella erotti-

mille on tilattu perushuolto. Tämä yksikkö kuitenkin sisältää sellaiset työt, joita ei voida tehdä, mikäli erotin on huoltovapaa, esimerkiksi SF₆-eristeisen kojeiston takia. Tästä johtuen aina tulisi ainakin tunnistaa kyseessä oleva kojeisto, jonka liike-energia on kohonnut, ennen huollon tilaamista. Tällöin välttyään tapauksilta, joissa on tilattu erottimelle työ, jota sille ei pystytä tekemään. Pylväserottimille liike-energian mittaaminen sen sijaan sopii ennakoivan kunnossapidon menetelmäksi. Pylväserottimet ovat pahasti ulkoisten vaikutusten armoilla, joten niissä voit tapahtua suuriakin muutoksia mekaanisessa toiminnassa. Nämä muutokset voidaan huomata juuri liike-energiaa mittaamalla.

Ohjauskertojen vaikutus liike-energian mittauksen perusteella tilattuihin erotinhuoltoihin on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Liike-energian mittauksen perusteella tilatut erotinhuollot ohjauskerroittain yhtä erotinta kohden.

Kuvasta nähdään, että erotinhuoltojen määrä on hyvin pieni alle 20 kertaa ohjattujen erottimien joukossa. Huoltojen määrä kuitenkin alkaa tämän jälkeen kasvamaan, kunnes

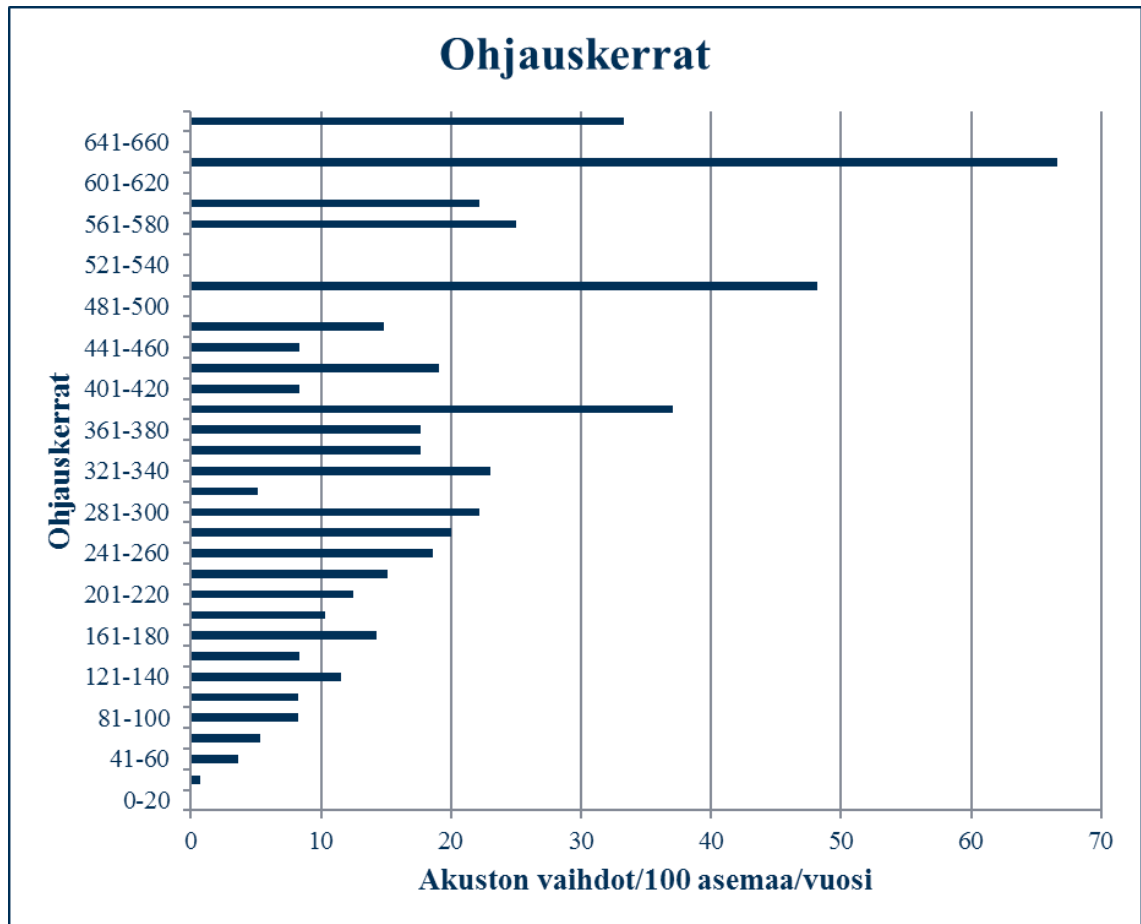
se tasoittuu 60 ohjauskerran jälkeen. Tämän jälkeen huoltojen määrässä erotinta kohden on pientä aaltoilua. Kuvan perusteella vaikuttaisi, että erottimen ohjauskerroilla on ohjauskertojen määrän kasvaessa aluksi vaikutusta huoltojen määrään, kunnes huoltojen määrä tasoittuu. Myös erottimien iän vaikutusta huoltotarpeeseen tutkittiin, mutta tilastosta ei voitu vetää johtopäätöksiä. Huoltojen määrällä ei vaikuttaisi olevan minkään laista ikäriippuvuutta.

5.2.2 Erotinasemien akustojen vaihdot

Kauko-ohjattaville erotinasemille on tehty ennakoivaa kunnossapitoa tekemällä erotinasemien akustoille akustotestit, joilla saadaan arvioitua erotinaseman akuston kapasiteettia. Mikäli kapasiteetti on ollut alle sallitun rajan, on erotinasemalle tilattu akuston vaihto. Akkutestit on tehty liike-energioiden hakemisen tavoin kerran vuodessa ja erotinasemille, joiden akuston kapasiteetit ovat olleet pienemmät kuin sallittu raja-arvo, on tilattu akuston vaihto. Materiaalia analysoitiin vuonna 2013 tehtyjen akustotestien perusteella kumppaneille vuodelle 2014 tehdyistä massatilauksista aina vuonna 2016 tehtyjen akustotestien perusteella vuodelle 2017 tehtyihin massatilauksiin. Yhteensä tilasto sisälsi 598 akuston vaihtoa. Keskimäärin akuston vaihtoja on vuodessa tehty sataa erotinasemaa kohti noin 0,7.

Akuston vaihtoja on tehty pylväserotinasemille 505. Rakenteella suojatuille erotinasemille on tehty 62 akustonvaihtoa. 31 akustonvaihtoa on tehty erotinasemille, jotka on todennäköisesti purettu akuston vaihtamisen jälkeen, sillä niitä ei löytynyt verkkotietojärjestelmästä. Nämä sisältävät sekalaisesti sekä pylväs-, että rakenteella suojattuja erotinasemia. Selvästi suurin osa akuston vaihdoista ennakoivasti akustotestien perusteella on siis tehty pylväserotinasemille. Tämä on merkittävä havainto, sillä kauko-ohjattavien erottimien lukumäärissä ei ole suurta eroa rakenteella suojattujen ja pylväserottimien välillä. Todennäköinen syyllinen pylväserottimien akustojen vaihtojen suureen määrään suhteessa rakenteella suojattuihin erottimiin on ulkoiset sääolosuhteet. Rakenteella suojatuilla erotinasemilla ohjauslaitteisto sisältäen akuston on sisällä muuntamossa. Muuntamossa muuntajakone nimellistehosta riippuen yleensä lämmittää muuntamoa sisältäpäin tehohäviöiden muodossa. Tästä johtuen rakenteella suojattujen erottimien ohjauslaitteistoilla lämpötila ja ilmankosteus vaihtelevat todennäköisesti jonkin verran vähemmän kuin ilmajohtoerottimien ohjauslaatikoissa. Pylväserotinasemien tapauksessa taas ohjausjärjestelmät ovat metallisessa laatikossa erotinpylvään varressa. Ohjauslaatikossa kyllä on lämmitys, jolla sen lämpötilan putoaminen kovin matalalle voidaan estää, mutta vaihtelu olosuhteissa on silti todennäköisesti suurempaa. Erityisesti muuntamoissa, joissa on suuren nimellistehon muuntajakone, muuntamon sisäilma on suhteellisen kuivaa ja lämpötila on melko tasainen. Lyijyakut ovat akkuteknologiana herkkiä lämpötilan äärimmäisille vaihteluille.

Erotinaseman ohjauskertojen vaikutusta akustojen vaihtoihin on kuvattu kuvassa 21.



Kuva 21. Akustotestien perusteella tilatut akuston vaihdot erotinaseman ohjauskerroittain yhtä erotinasemaa kohden.

Kuvasta nähdään, että akuston vaihtojen määrä sataa kyseisen ohjauskertamäärän erotinasemaa kohden nousee ohjauskertojen määrän kasvaessa. Tästä voidaan päätellä akustojen ikääntyvän aseman erottimia ohjattaessa. Ohjauskertojen määrän vaikutus ei kuitenkaan välttämättä ole niin suoraviivainen kuin kuvassa näyttää, sillä paljon ohjatut asemat ovat mahdollisesti myös vanhempia kuin vain vähän ohjatut. Ei siis voida vetää varmaa johtopäätöstä siitä, johtuuko huoltojen lisääntyminen ohjauksista vai ajallisesta ikääntymisestä. Näitä tekijöitä kannattaneekin käsitellä kokonaisuutena.

5.3 Verkkotietojärjestelmään dokumentoidut kunnossapitotyöt

Kuten kappaleessa 4 kerrottiin, Elenialla kaikki erottimille tilattavat kunnossapitotyöt dokumentoidaan verkkotietojärjestelmään. Verkkotietojärjestelmään dokumentoidaan luvun viisi aiemmissa alaluvuissa esitetystä kunnossapidosta kunnossapitotöinä hoidettu tarveperusteinen kunnossapito ja ennakoivasta kunnossapidosta erotinhuollot. Vikatöinä hoidettua tarveperusteista kunnossapitoa ei dokumentoida verkkotietojärjestelmään ja ennakoivasta kunnossapidosta akuston vaihdot dokumentoidaan hieman toisella tavalla, joten niitä ei tämän luvun tilastossa näy. Tilasto on kerätty verkkotietojärjestelmään do-

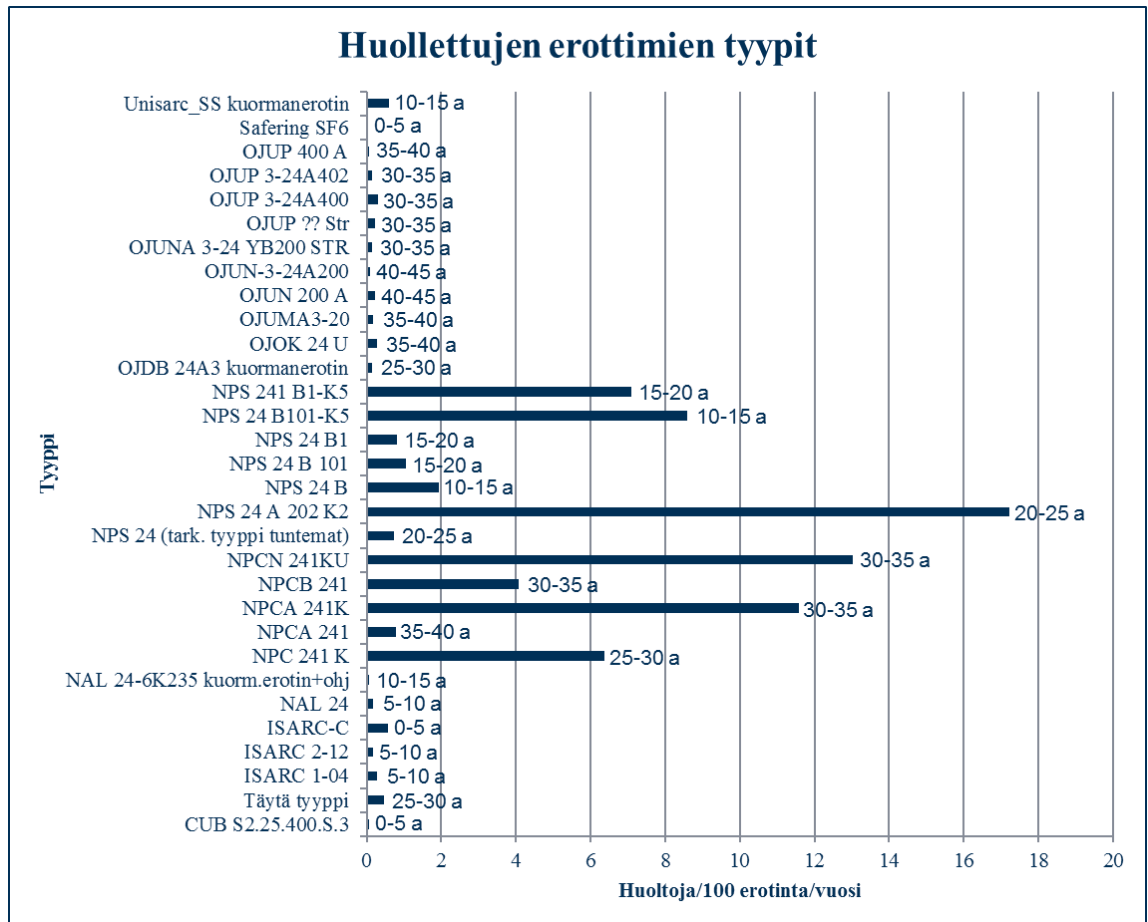
kumentoiduista erottimista, joten se ei pidä sisällään erottimia, jotka on ehditty purkamaan ja eivät siitä johtuen ole enää verkkotietojärjestelmään dokumentoituna. Dokumentoituja erotinhuoltoja löytyi tilastosta 2088 kappaletta, joista vanhin oli dokumentoitu 27.2.2012 ja uusin 2.8.2017. Kunnossapitotöitä on siis tilastossa yli viiden vuoden ajalta. Huollettujen erotinten keskimääräinen ikä on 18,38 vuotta ja huolletuista erottimista 1683 on kauko-ohjattavia. Manuaalisesti ohjattavia on siten 405. Erotinhuolloista on kerrottu perustietoja taulukossa 4.

Taulukko 4. Perustietoa erotinhuolloista.

| | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Aineistossa erotinhuoltoja (aika): | 5 vuotta, 5 kuukautta, 6 päivää |
| Erotinhuoltoja | 2088 |
| Huollettujen erottimien keski-ikä (a) | 18 |
| Huoltoja kauko-ohjattaville | 1683 |
| Huoltoja kauko-ohjattaville % | 80,60 |
| Huoltoja manuaalisesti ohjattaville | 405 |
| Huoltoja manuaalisesti ohjattaville % | 19,40 |
| Huoltoja rakenteella suojatuille | 134 |
| Huoltoja rakenteella suojatuille % | 6,42 |
| Huoltoja pylväserottimille | 1622 |
| Huoltoja pylväserottimille % | 77,68 |

Taulukosta nousee esiin erityisesti kauko-ohjatuille erottimille dokumentoitujen huoltojen suuri osuus kaikista erotinhuolloista. Yli 80 % kaikista dokumentoiduista erotinhuolloista on tehty kauko-ohjattaville erottimille. Tämä kertoo, että kauko-ohjattaville erottimille joudutaan tekemään huomattavasti manuaalisesti ohjattavia erottimia enemmän kunnossapitoa, vaikka määrällisesti niitä on vain hieman yli 10 % koko erotinkanasta. Kauko-ohjattavat erottimet ovat herkempiä häiriöille, sillä sähköiset ohjaukset mahdollistavan ohjauslaitteiston vuoksi niissä on huomattavasti enemmän osia, jotka voivat hajota. Lisäksi kauko-ohjattavat erottimet ovat myös herkempiä mekaanisille vioille, sillä manuaalisesti ohjattavaa erotinta voidaan sen jumiuduttua tai jäykistyttyä ohjata asentajan toimesta suuremmalla voimalla kuin kauko-ohjattavaa moottorin toimesta. Lisäksi taulukosta selviää, että rakenteella suojatuille erottimille on tehty vain noin kuusi prosenttia kaikista dokumentoiduista erotinhuolloista tai hieman enemmän kun taas pylväserottimille on tehty ainakin 77 % kaikista dokumentoiduista erotinhuolloista. Tieto siitä, onko huollettu erotin pylväserotin vai rakenteella suojattu on otettu taulukkoon erottimen tyypin perusteella, joten tilasto ei tältä osin sisällä tuntemattoman tyypin erottimia. Todellisuudessa siis osuudet olisivat hieman suurempia. Koko erotinkan osalta keskimäärin huoltoja 100 erotinta kohden vuodessa on tehty noin 0,7.

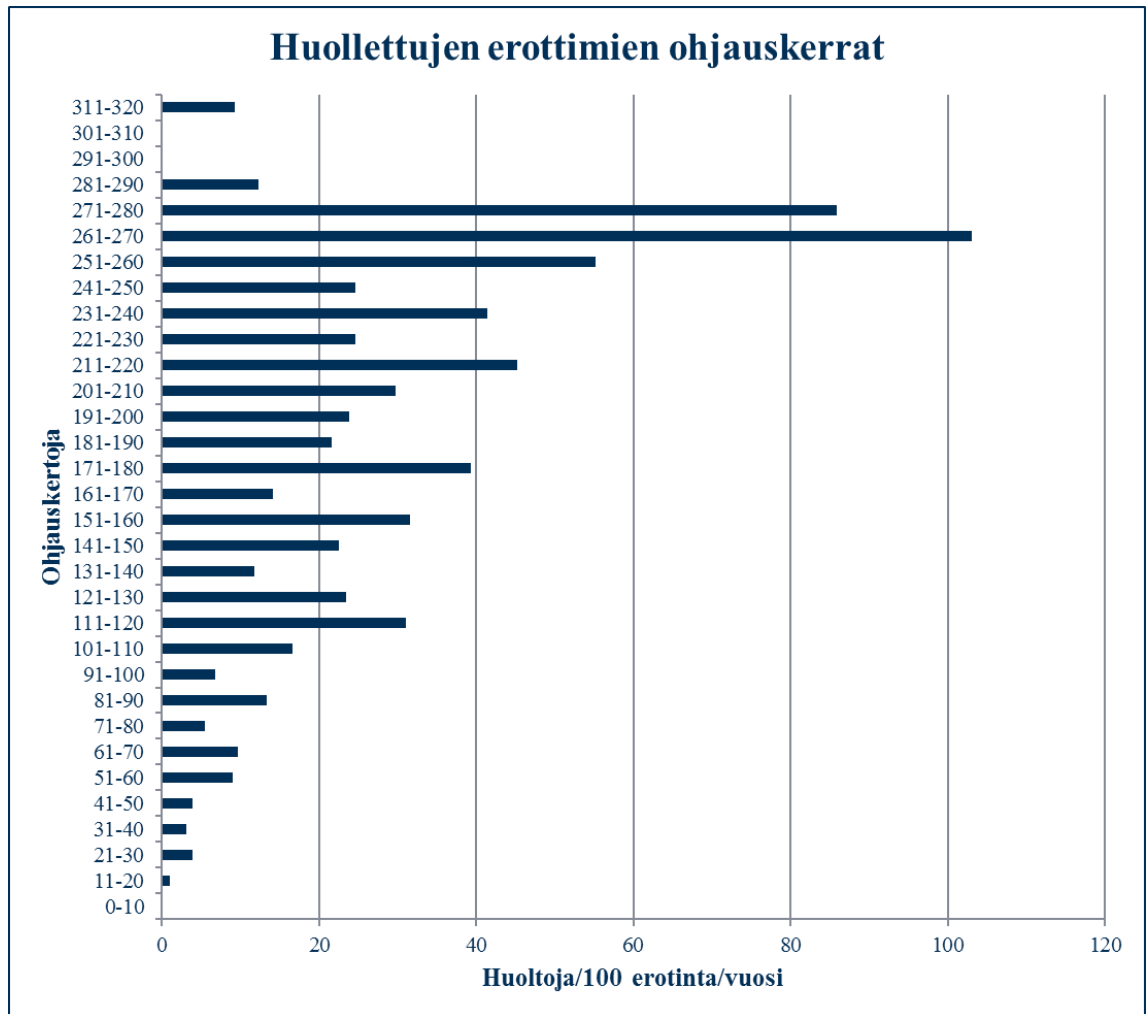
Dokumentoidut erotinhuollot erotintyypeittäin on esitetty kuvassa 22. Kuvassa on esitetty erotintyyppit, joita on verkossa vähintään 100 kappaletta.



Kuva 22. Dokumentoidut erotinhuollot tyypeittäin.

Kuvassa on esitetty tilasto ainoastaan sellaisten erottimien osalta, joita on verkossa yli sata kappaletta. Kuvasta selviää, että eniten huoltoja suhteessa erotinten määrään on dokumentoitu tehdyksi NPS 24 A 202 K2 -erottimille. Muita paljon huoltoa vaatineita erotintyyppejä ovat NPCN 241KU ja NPCA 241K. Kyseisiä erottimia yhdistää se, että ne kaikki ovat melko vanhoja erotinmalleja, joten niitä on verkossa hyvinkin vanhoja yksilöitä. Kuitenkin kuvassa näkyy, että verkossa on myös erotinmalleja, jotka ovat keski-ikältään iäkkäitä, mutta joita ei ole jouduttu huoltamaan paljoakaan.

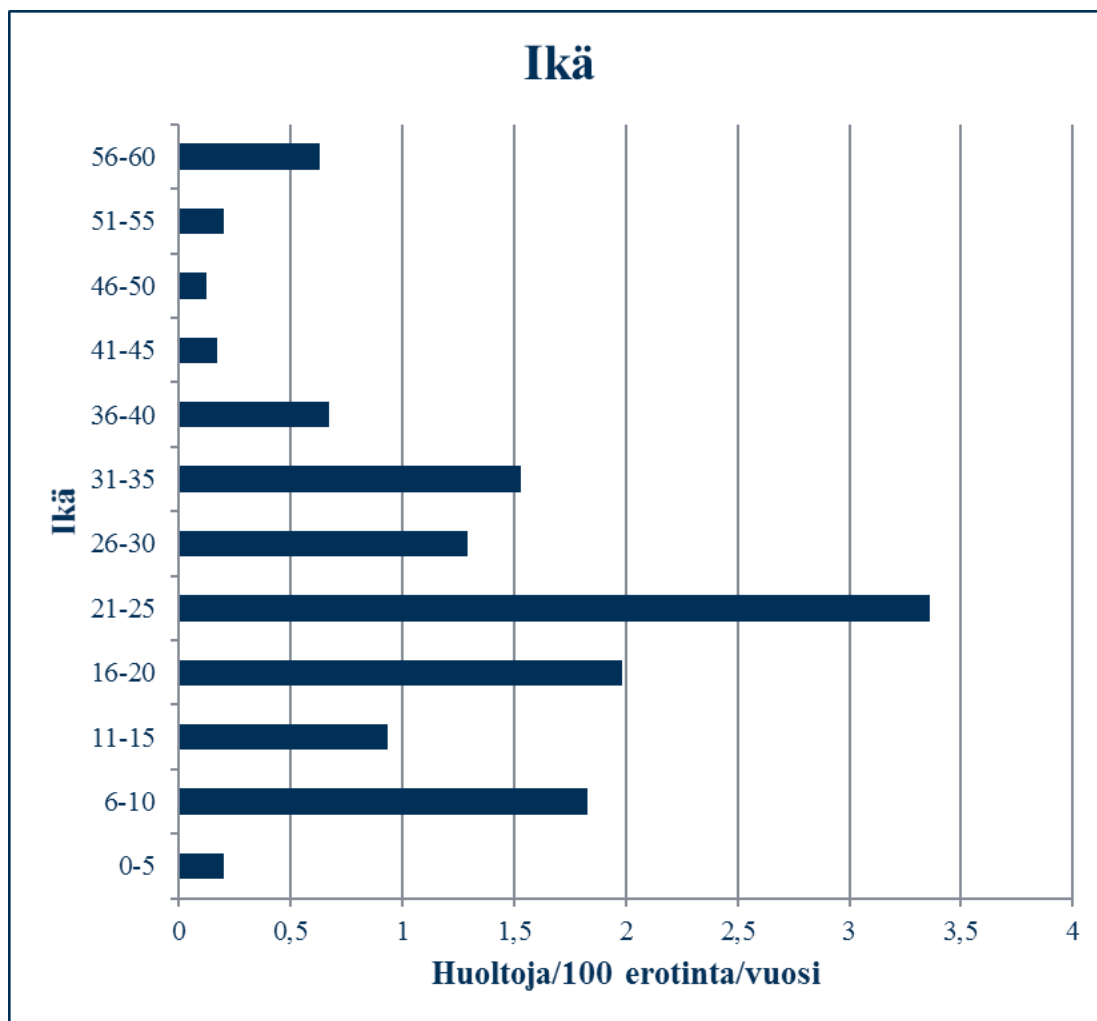
Erottimien ohjauskertojen vaikutus dokumentoituihin erotinhuoltoihin on esitetty Kuvassa 23.



Kuva 23. Verkkotietojärjestelmään dokumentoidut erotinhuollot ohjauskerroittain yhtä erotinta kohden.

Kuvasta nähdään selvästi huoltojen määrän yhtä erotinta kohden kasvavan ohjauskertojen määrän kasvaessa. Tämän perusteella vaikuttaisi, että erottimet kokevan jonkinlaista ohjauskertojen tuomaa kulumista.

Iän vaikutusta erottimien huoltotarpeeseen kuvaa kuvassa 24 esitetty kuvaaja.

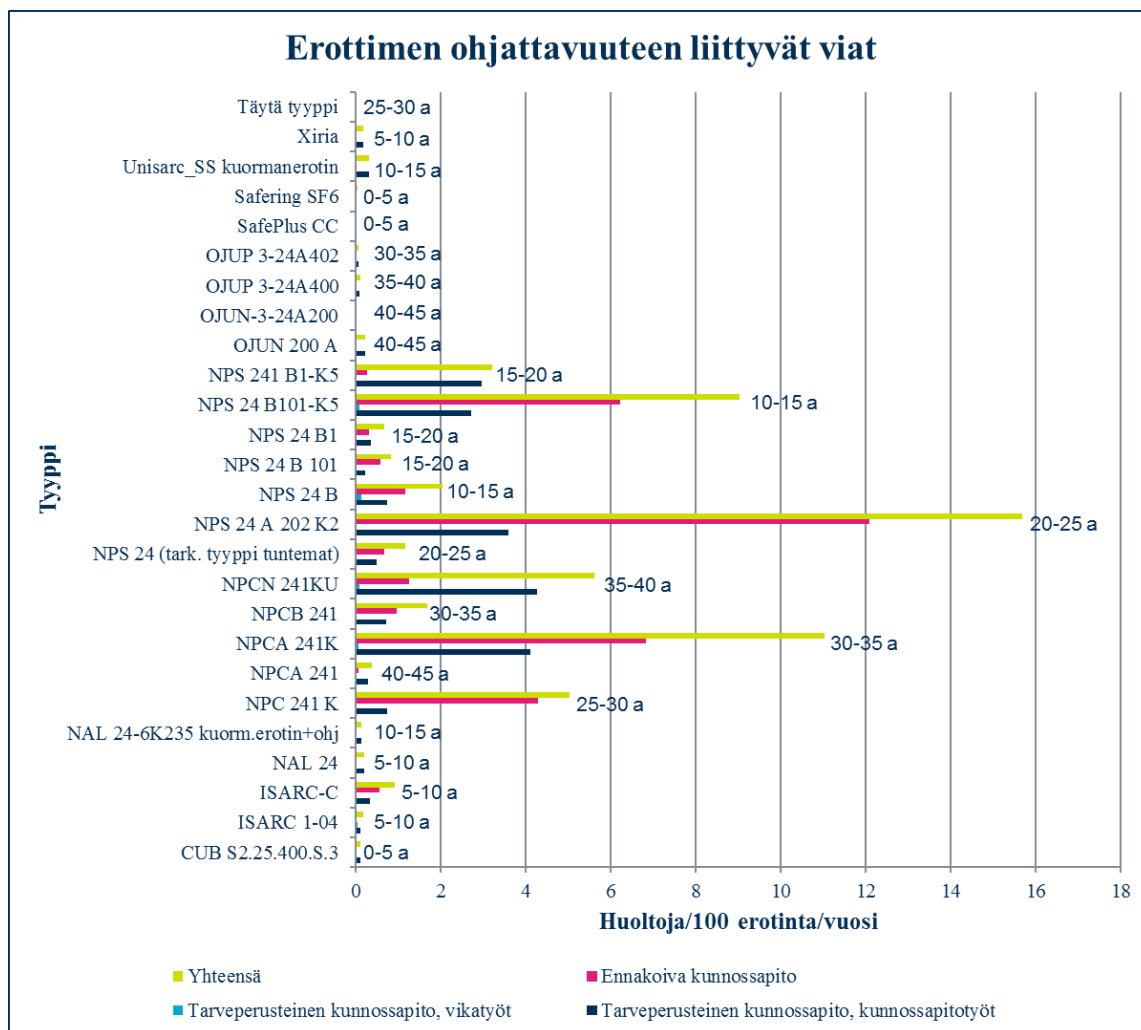


Kuva 24. Erotinhuoltojen suhteellinen jakautuminen eri-ikäisille erottimille.

Kuvasta ei erottimien iän vaikutuksesta huoltotarpeeseen selviä oikeastaan muuta kuin 20–25 vuotiaille erottimille tehtyjen huoltojen suuri määrä. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että vanhimmat kauko-ohjattavat erottimet ovat juuri tuon ikäisiä ja ne ovat vaatineet jonkin verran huoltoa. Ylipäättään ikätilastosta on nähtävissä, että kauko-ohjattavia erottimia huolletaan enemmän, sillä alle 25-vuotiaita erottimia on huollettu vähemmän kuin tuota vanhempia. Huoltojen määrässä alle 25-vuotiaiden erottimien osalta on havaittavissa hienoista kasvua iän kasvaessa.

5.4 Vikatietojen yhteenveto

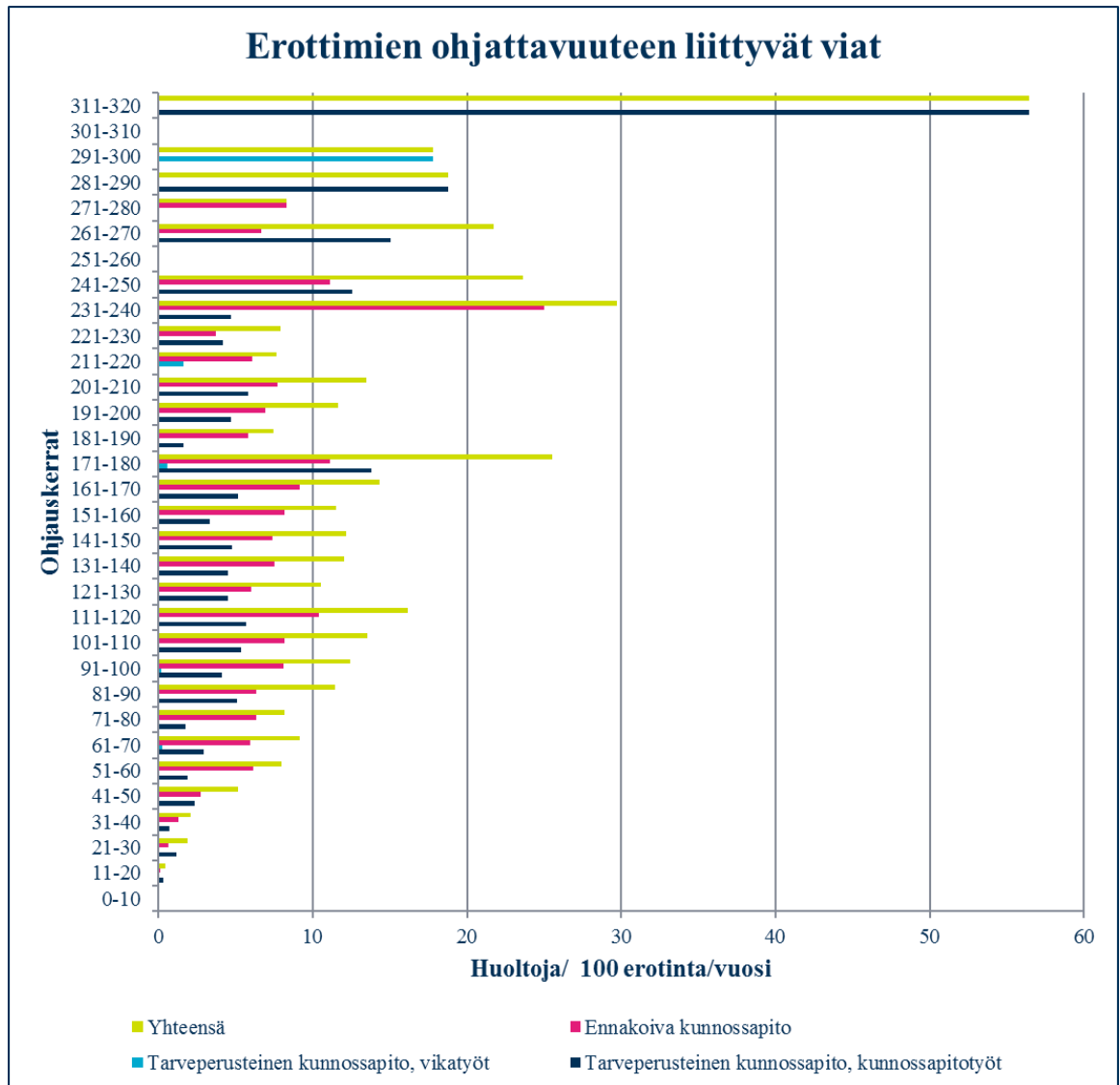
Tarkasteltaessa erottimen ohjattavuuteen liittyviä vikoja voidaan arvioida, onko ennakkoivaa kunnossapitoa tehty liikaa, sopivasti vai liian vähän. Erottimen ohjattavuuteen liittyviksi vioiksi katsottiin kuuluvaksi tarveperusteisesta kunnossapidosta viat, joissa syynä on jäykkä, mekaaninen, sähköiset ohjaukset, kauko-ohjaus, säädettävä, mekaaninen, puutteellinen avautuminen tai sulkeutuminen, tahaton aukeaminen tai jumiutuminen ja ennakoivasta kunnossapidosta liike-energian mittauksen perusteella tilatut erotinhuollot. Erottimille tehty kunnossapito tyypeittäin on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Erottimien ohjattavuuteen liittyvät viat erotintyypeittäin.

Kuvasta nähdään, että NPS 24 B101-K5, NPS 24 B 101, NPS 24 A 202 K2, NPCA 241K ja NPC 241 K -tyyppien erottimille on tehty selvästi enemmän ennakoivaa kuin tarveperusteista kunnossapitoa erottimen ohjattavuuteen liittyen. Näiden erotinmallien osalta vaikuttaisi, että ennakoivalla kunnossapidolla on onnistuttu melko hyvin rajoittamaan tarveperusteisen kunnossapidon määrää ennakoivalla kunnossapidolla. Ohjelmaa päivitettäessä on kuitenkin syytä varmistaa, ettei ennakoivaa kunnossapitoa tehdä liikaa. NAL 24 -tyypin erottimille taas on jouduttu tekemään paljon tarveperusteista kunnossapitoa suhteessa ennakoivaan kunnossapitoon. Muiden tyyppien osalta huoltomäärät ovat sen verran pieniä, ettei johtopäätöksiä voida vetää.

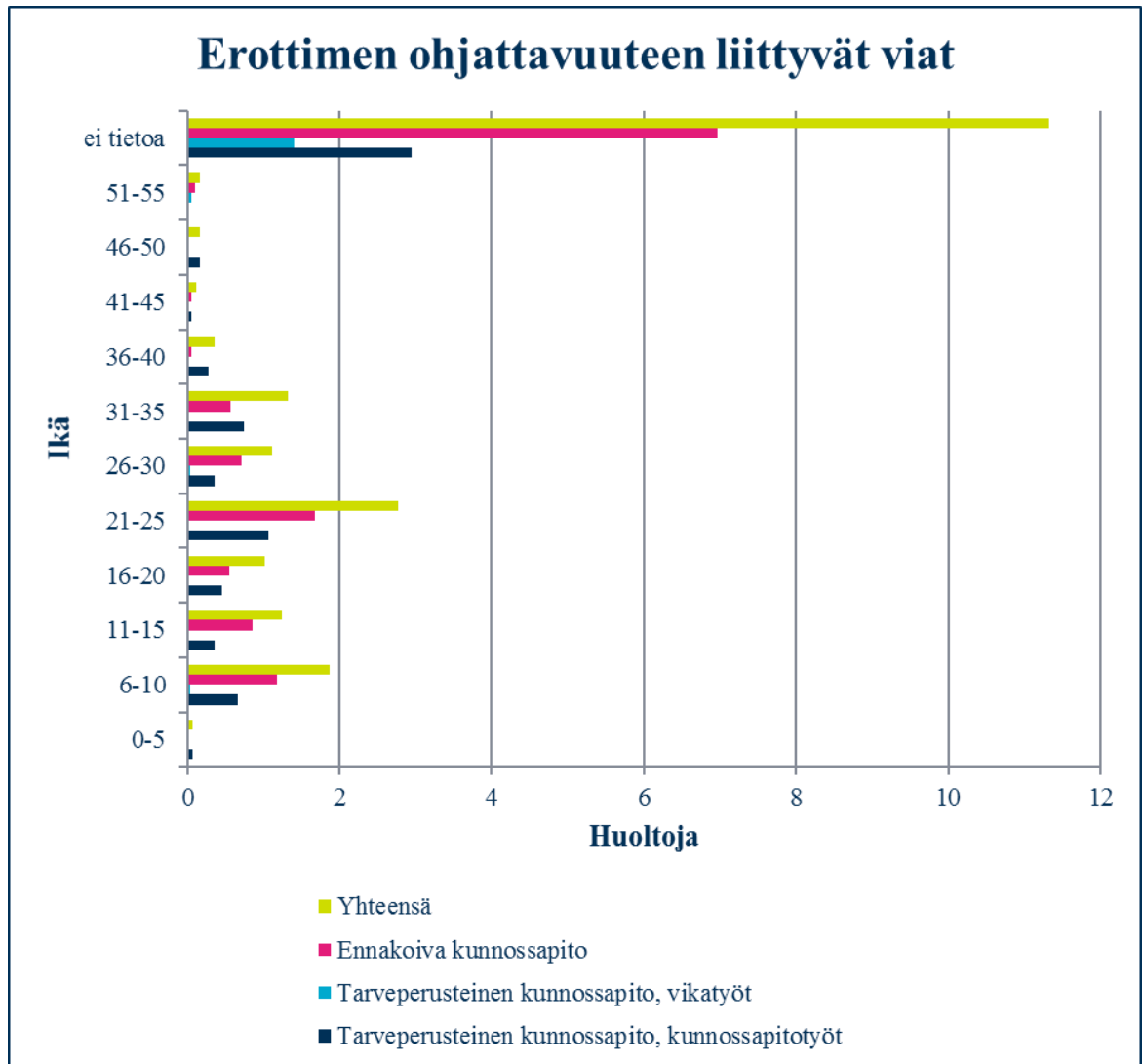
Erottimen ohjauskertojen vaikutus eri kunnossapitolajeihin on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Erottimien ohjattavuuteen liittyvät viat ohjauskerroittain.

Kuvasta nähdään, että erottimet, joita on ohjattu alle 30 kertaa, ovat vaatineet enemmän tarveperusteista kunnossapitoa, mutta tuon jälkeen on erottimille tehty enemmän ennakkoivaa kunnossapitoa. Osittain tähän on varmasti syynä se, että todennäköisesti alle 30 kertaa ohjatuista erottimista suuri osa on manuaalisesti ohjattavia, mutta tuon jälkeen kasvaa kauko-ohjattavien erottimien osuus.

Myös erottimen iän vaikutusta eri kunnossapitolajien jakautumiseen on syytä tarkastella. Tämä on esitetty kuvassa 27.

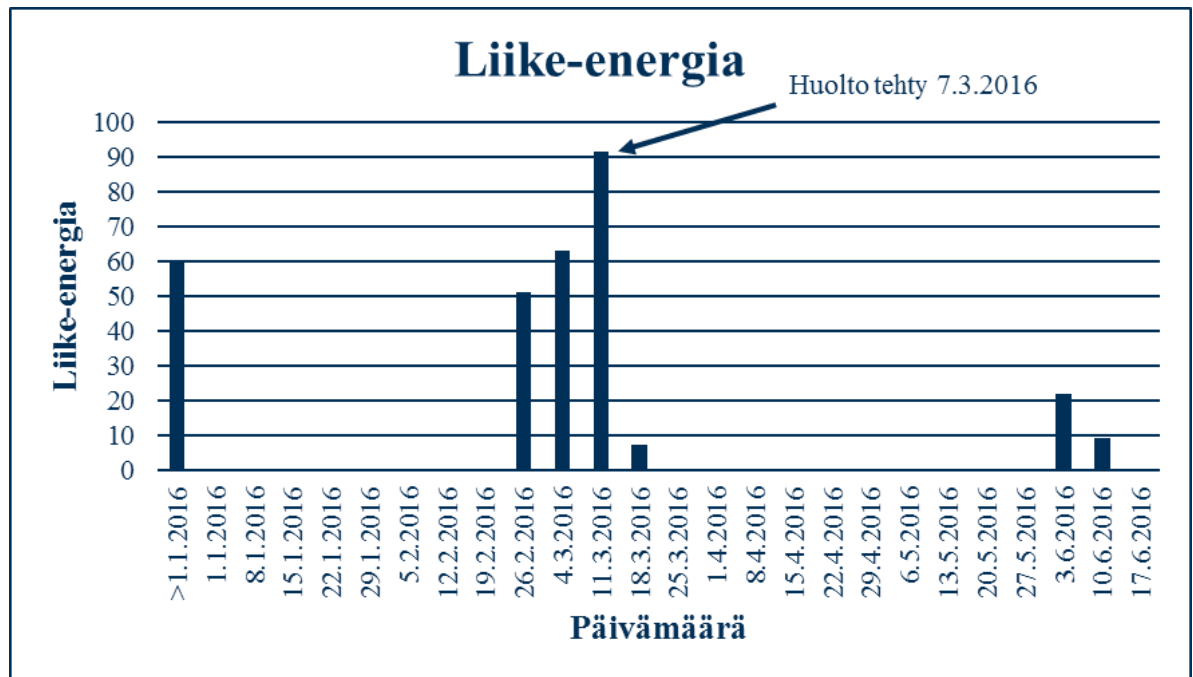


Kuva 27. Erottimien ohjattavuuteen liittyvät viat ikäryhmittäin.

Kuvasta nähdään, että viisi vuotta vanhoille ja sitä uudemmille erottimille on tehty huomattavasti enemmän tarveperusteista kuin ennakoivaa kunnossapitoa. Tätä korkeampien ikäryhmien erottimilla enemmän ennakoivaa kuin tarveperusteista kunnossapitoa on tehty 6-30 vuotta vanhoille erottimille. Tästä vanhemmille erottimille on jälleen tehty enemmän tarveperusteista kunnossapitoa, joskin määrät yli 45-vuotiailla erottimilla ovat niin pieniä, ettei tuosta voida niiden osalta vetää johtopäätöksiä. Vaikuttaisi kuitenkin, että 6-30 vuotta vanhoille erottimille tehdyllä ennakoivalla kunnossapidolla olisi saatu vähennettyä tarveperusteisen kunnossapidon käyttöä.

Ohjattavuuteen liittyviä vikoja ja niiden hoitumista perushuollolla voidaan tutkia tarkastelemalla erottimen ohjausenergiaa ennen huoltoa ja sen jälkeen. Esimerkkinä tällaisesta erottimesta käy vaikkapa Pohjoismainen Sähkö Oy:n valmistama pylväserotin, jonka ohjausenergia on kohonnut. Tämä on huomattu yritettäessä ohjata erotinta, jolloin erotin ei ole ohjautunut. Erottimelle on tehty perushuolto, jonka jälkeen se on toiminut oikein. Kyseinen pystytään toteamaan erottimen koestuksella saadun erottimen toimimi-

sesta varmistumisen lisäksi myös erottimen liike-energioista. Liike-energiat on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Erottimen ohjauksen liike-energia ennen ja jälkeen huollon.

Kuvassa pystyakselilla on erottimen mekaanista toimintaa kuvaava erottimen moottorin ottaman virran ja ohjausajan tulo yksikössä ampeerisekunti (As) ja vaaka-akselilla on aika. Liike-energiatiedot saadaan siten, että tietoon on mahdollista saada vuoden kunkin viikon liike-energian maksimiarvo. Kuvassa esimerkiksi päivämäärä 1.1.2016 tarkoittaa 1.1.2016 haettua arvoa, joka on tuosta viikon ajanjakso taaksepäin ja kyseisen päivämäärän liike-energia on maksimiarvo tuolta aikaväliltä. Kyseinen erotin on huollettu 7.3.2016, jonka jälkeisten ohjausten liike-energiat ovat olleet selkeästi alkuperäistä arvoa pienempiä. Tämä näkyy palkissa 11.3.2016, joka sisältää ohjaukset 5.3.2016-11.3.2016 ja siten huoltoajankohdan. Kyseisen mukaisia tapauksia tutkittiin useampia-kin ja löydökset olivat kuvan 28 mukaisia. Perushuolto vaikuttaisi siis toimivan hyvin erottimien mekaanisten vikojen hoidossa.

Tietoliikenneyhteyksiin liittyviä vikoja ei toistaiseksi ole näkynyt Elenialle kovinkaan paljoa. Ainoastaan yhdeksässä kunnossapitotyönä hoidettua tarveperusteista kunnossapitoa vaatineessa viassa syy on ollut yhteydet. Toki myös osa 59 viasta, joissa syynä oli kauko-ohjaus, on saattanut johtua tietoliikenneyhteyksien toimimattomuudesta. Syynä pieneen yhteysvikojen määrään tilastoissa on se, että erotinasemien ala-asemat ovat kumppanin omistuksessa ja hallinnassa. Tästä syystä suurin osa niiden vioista ei ole aiheuttanut Elenialla toimenpiteitä, vaan vikojen korjaus on hoitunut kumppanin toimesta ilman sen näkymistä Elenialla.

Erottimen kykyyn johtaa sähkövirta lävitseen, katkaista sähkövirta ja muodostaa riittävän jännitelujuuden omaava erotusväli liittyviksi vioiksi voidaan lukea kuuluvaksi kunnossapitotöinä hoidetusta tarveperusteisesta kunnossapidosta viat, joissa syynä on jompit, eristin, sähköön johtavuus sekä piiskat ja sammutuskammiot. Vikatöinä hoidetusta tarveperusteisesta kunnossapidosta tähän kastiin lukeutuvaksi voidaan katsoa viat, joissa syynä on eristin, piiskat ja kammiot, sähköön johtavuus ja jompit. Näistä jompit ovat aiheuttaneet kolme kunnossapitotyönä hoidettua vikaa ja 23 vikatyönä hoidettua vikaa. Osa näistä voitaisiin välttää varmistamalla, että erottimen jompit eivät pääse liian lähelle toisiaan sekä seuraamalla jomppien kuntoa silmämääräisin tarkastuksin. Tällöin saataisiin pidettyä huoli, etteivät jompit ainakaan osu toisiinsa tai liian lähelle toisiaan ja että ne eivät katkea tai irtoa omia aikojaan. Jompeista aiheutuneista vioista osan kuitenkin on aiheuttanut esimerkiksi oikosulut, jotka ovat voineet aiheutua johtoon osuneesta eläimestä, salamasta tai vastaavasta ulkopuolisesta syystä. Näitä ei pelkästään jomppien kuntoa valvomalla pystytä estämään. Piiskojen ja sammutuskammioiden sekä eristimien kuntoa voitaisiin valvoa lähinnä tarkastuksilla. Yleisesti sähköön johtavuuteen liittyviä vikoja voitaisiin ennakoida silmämääräisten tarkastusten lisäksi myös lämpökuvauksella. Tarkastuksia ja lämpökuvausta ei kuitenkaan ole kannattavaa tehdä niin usein, että niistä saataisiin todellista hyötyä. Elenialla ilmajohtoverkon erottimia tarkastetaan tällä hetkellä ilmakuvauksin neljän vuoden välein ja rakenteella suojattuja erottimia kuuden vuoden välein. Tämä on liian harvoin niiden jatkuvaan kunnonseurantaan, mutta toisaalta ei ole taloudellisesti kannattavaa ja mahdollista tarkastaa kaikkia erottimia esimerkiksi puolen vuoden välein, jolloin voisi olla mahdollista huomata alkavia vikoja esimerkiksi lämpökuvausta hyödyntämällä. Näiden osalta tulevat jatkossa mahdollisesti muodostumaan kannattaviksi erilaiset sensorointiratkaisut, joita voidaan hyödyntää online-kunnonvalvonnassa.

Erotoasemien akustojen vaihtoja tarkasteltaessa huomataan, että selkeästi suurin osa vaihdoista on tehty akustotestien perusteella massatilauksina. Akustotestien perusteella on vaihdettu yhteensä 598 akustoa, kun korjaavana kunnossapitona vaihtoja oli tehty vain 34. Tämä kertoo siitä, että akustotesteillä on siis pystytty hyvin ennakoimaan akustojen vaihtotarvetta. On kuitenkin huomioitava, että myös akustotestien osalta on käytetty kapasiteetin alarajana yhtä ja samaa raja-arvoa, vaikka akustot ovat erilaisia eri erotinasemilla. Asemilla, joilla on enemmän erottimia, koostuu akusto useammasta akusta kuin yksittäisen erottimen asemilla. Kummassakin tilastossa huomattiin, että suurin osa akustojen vaihdoista oli tehty ilmajohtoverkon erottimille. Ainoastaan kolme tarveperusteisena kunnossapitona vaihdetuista 34 erotinaseman akustosta oli rakenteella suojatulla erotinasemalla. Vastaavasti akustotestien perusteella vaihdetuista 598 akustosta ainoastaan 62 akustoa oli rakenteella suojattujen erotinasemien akustoja. Kummassakin tapauksessa siis noin 10 prosenttia vaihdetuista akustoista on rakenteella suojattujen asemien akustoja.

Verkkotietojärjestelmään dokumentoituja erotinhuoltoja tarkasteltaessa huomataan, että pylväserottimet ovat vaatineet huomattavasti enemmän huoltoa kuin rakenteella suojatut erottimet. Tämä johtuu suuresti siitä, että rakenteella suojatut erottimet ovat sisätiloissa ja eivät siten ole säätilojen muutoksille alttiina pylväserottimien tapaan. Pylväserottimissa ongelmaa on aiheuttanut useasti niiden jäykistyminen ajan mittaan. Todennäköisesti tätä on edesauttanut säätilojen vaihtuminen. Lisäksi rakenteella suojattujen erottimien rakenne on huomattavasti pylväserotinta vähemmän alttiina ulkoisille mekaanisille rasituksille. Pylväserottimille ongelmia voivat tuottaa muun muassa johdoille kaatuvat puut, jotka saattavat nykäistä erotinrakennetta sen verran, ettei erotin enää toimi moitteetta. Lisäksi pylväserottimiin voi rakentamistavasta riippuen kohdistua enemmän vetoa kuin rakenteella suojattuun erottimeen. Kunhan rakenteella suojatuille erottimille on kaapeleiden vedonpoistot tehty kunnolla ja asennus on muutoinkin ohjeiden mukainen, pitäisi mekaanisten rasitusten olla hyvin pienet.

Kauko-ohjattaville erottimille on dokumentoitu huomattavasti manuaalisesti ohjattavia erottimia enemmän huoltoja. Erityisen selväksi ero muodostuu, kun huomioidaan se, että kauko-ohjattuja erottimia on huomattavasti vähemmän kuin manuaalisesti ohjattavia. Syynä tähän voidaan nähdä ainakin se, että osa kauko-ohjattavien erottimien vioista on esiintynyt niiden moottoreissa ja muussa ohjauselektronikassa, joita ei edes ole manuaalisesti ohjattavissa erottimissa. Kauko-ohjattavissa erottimissa on siis enemmän mahdollisesti vikaantuvia osia. Lisäksi kauko-ohjattavat erottimet ovat tarkempia toimintolosuhteistaan. Manuaalisesti ohjattavan erottimen saattaa asentaja saada avattua tai suljettua käyttämällä hieman enemmän voimaa, jolloin jumiutunut erotin alkaa toimia ja toimii sen jälkeen taas hyvin. Kauko-ohjattava erotin taas ei vastaavassa tilanteessa välttämättä toimi ollenkaan, jolloin se vaatii kunnossapitoa. Osasyynä suurempaan huoltosten määrään kauko-ohjattavilla erottimilla voidaan nähdä myös se, että niitä käytetään huomattavasti manuaalisesti ohjattavia erottimia enemmän. Tällöin niiden vioista myös saadaan tietoa huomattavasti enemmän, joten niitä myös tulee huollettua enemmän. Verkossa on joitakin manuaalisesti ohjattavia erottimia, joita ei ole ohjattu hyvin pitkiin aikoihin, jolloin niiden toiminnasta ei ole saatu tietoa pitkiin aikoihin. Kauko-ohjattavien erottimien joukossa ei ole vastaavia kohteita.

Vikaantumistilastoista saatu data oli suurelta osin samansuuntaista kuin Vattenfallin teettämässä tutkimuksessa, johon viitattiin työn luvussa 4. Kummassakin tilastossa huomattiin, että enemmän kunnossapitoa olivat vaatineet kauko-ohjattavat erottimet. Lisäksi molemmissa tutkimuksissa todettiin, että yleisimpiä vianaiheuttajia olivat mekaaniset erottimen ohjattavuuteen vaikuttaneet viat.

6. KESKIJÄNNITEVERKON EROTTIMIEN KUNNOSSAPITO-OHJELMAN PÄIVITYS

Elenian keskijänniteverkon erottimien ja niiden automaation kunnossapito-ohjelman päivittämisessä hyödynnetään aiempien kappaleiden tietoa erottimista, kunnossapidosta, Elenian laitekannasta sekä vika- ja kunnossapitotiedoista kerättyä dataa. Näistä lähteistä saadaan kattavat lähtötiedot kunnossapito-ohjelman päivittämiseen. Kunnossapito-ohjelmaa päivitetään voimassa olevien urakoitsijasopimusten asettamissa rajoissa, eikä työyksiköihin tehdä tässä vaiheessa muutoksia. Myöskään laitekantaa tai työmenetelmiä ei lähdetä työn puitteissa muuttamaan.

6.1 Laitteista saatava data

Elenialla kauko-ohjattavista erottimista saadaan jonkin verran dataa, jota voidaan hyödyntää niiden kunnossapidossa. Erottimelta tulee jokaisesta ohjauksesta tilatieto, josta voidaan päätellä ohjauksen onnistuminen tai epäonnistuminen. Tätä tilatietoa tarvitaan ensisijaisesti, jotta voidaan varmistaa ohjauksen onnistuminen, kun erotinta on ohjattu kauko-ohjauksella. Kunnossapidossa tilatietoa voidaan hyödyntää pääosin korjaavan kunnossapidon käytössä. Mikäli erotin antaa tilatiedon, jonka mukaan ohjaus on epäonnistunut, voidaan sille tilata korjaus. Tilatietoja voidaan myös soveltaa ennakoivaan kunnossapitoon. Mikäli erottimen ohjaamiseksi vaaditaan useita ohjauskäskyjä ennen kuin erottimen tilatieto kertoo erottimen auenneen tai sulkeutuneen kokonaan, tiedetään jonkin olevan vialla. Tällöin erottimelle voidaan tilata kunnossapitoa, vaikka sitä saataisiinkin vielä useilla ohjauskäskyillä ohjattua loppuun saakka. Tilatietojen hyödyntämisen osalta jatketaan samaan malliin kuin aiemminkin on toimittu. Mikäli tilatietojen perusteella erottimen toiminnassa havaitaan jotakin vikaa, tekee käytönvalvoja asiasta viikailmoituksen, jonka perusteella kunnonhallinta-tiimissä analysoidaan, mitä erottimelle tulisi tehdä tai onko ylipäättään mitään tarvetta tehdä. Korjaavan kunnossapidon suorittamista edeltää aina tilannearvio, jossa arvioidaan, mitä toimenpiteitä laitteelle on kannattavaa tehdä.

Lisäksi suurimmasta osasta erottimista saadaan tieto ohjauksiin vaaditusta liike-energiasta. Liike-energiatiedot sopivat viidennen luvun tietojen perusteella erityisesti ilmajohtoverkon pylväserottimien kunnonvalvontaan. Mahdollisuus liike-energian mittaamiseen kauko-ohjattavissa rakenteella suojatuissa erottimissa tulee lähivuosina poistumaan osasta kohteista, sillä osaan uusista puistomuuntamoista toiminnallisuutta ei ole enää otettu ja se saattaa vikaindikoinnin myötä kadota myös osasta vanhemmista kohteista. Tästä ei koidu suurta haittaa, sillä kuten luvussa viisi todettiin, sopii liike-

energian mittaaminen paremmin ilmajohtoverkon erottimien kunnonvalvontaan. Käytävissä ollessaan liike-energian mittaus tarjoaa kuitenkin arvokasta tietoa erityisesti ilmajohtoverkon pylväserottimien mekaanisesta kunnosta. Myös rakenteella suojattujen erottimien osalta liike-energiatiedot kuitenkin huomioidaan jatkossakin, sillä nekin tulevat samalla raportilla pylväserottimien liike-energioiden kanssa. Mikäli liike-energia on rakenteella suojatulla erottimella poikkeuksellisen suuri, tutkitaan sen syytä tarkemmin ja pohditaan, vaatiiko tapaus toimenpiteitä. Liike-energiatietoa sovellettaessa kunnossapidossa on olennaista löytää sopiva arvo liike-energialle, tavat tulkita erotinkohtaisia eroavaisuuksia sekä liike-energian kehittymistä. Lisäksi liike-energioiden tarkastelu on syytä tehdä nykyistä useammin.

Jatkossa erottimille tehdään liike-energioiden tarkastelu kvartaaleittain. Tällä saadaan useammin tieto erottimista, joiden toiminta on heikkenemässä. Lisäksi kvartaaleittainen tarkastelu mahdollistaa erotinhuoltojen tilaamisen lyhyemmällä toimitusajalla, jolloin erottimet tulee myös huollettua nopeammin. Muutos pienentää yksittäisen erottimen osalta prosessin läpimenoajan korkean liike-energian vaatineesta ohjauksesta erottimen huoltoon saakka neljännekseen aiemmasta. Tavoitteena siirtymisellä tarkasteluun kvartaaleittain on, että tiedot erottimien mekaanisesta kunnosta saataisiin ajankohtaisemmin ja että niihin reagoitaisiin nopeammin. Tällä tavoin pitäisi pystyä vähentämään tilanteita, joissa erottimen ohjattavuus menetetään kokonaan mekaanisen vian vuoksi, mikäli kyseessä on liike-energian mittauksella huomattavissa oleva hiljalleen etenevä vika. Tarkastelua ei kuitenkaan tehdä useammin kuin kvartaaleittain, koska joissakin tapauksissa erottimen ohjattavuus palautuu yksittäisen korkean liike-energian vaatineen ohjauksen jälkeen. Tämä on mahdollista todeta liike-energian mittauksen perusteella, jos mittaus todistaa ohjausenergian palaavan normaaliksi ilman huoltoa. Lisäksi tarkasteluun ja töiden tilaamiseen kuluu aina työaikaa, joka myös on huomioitava pohdittaessa panostuksia suhteessa tuotoksiin. Täten kvartaaleittain tehtävällä tarkastelulla saadaan ehkäistä turhien huoltotilausten tekemistä erottimille, joilla on tilapäisen toimintahäiriön vuoksi ollut yksittäinen korkeamman liike-energian vaatinut ohjaus.

Erottimien liike-energioita tarkasteltaessa tullaan jatkossa huomioimaan laitteiden väliset eroavaisuudet. Työssä kerättyä kattavaa dataa tullaan hyödyntämään erityisesti erotinmallien välisten eroavaisuuksien selvittämiseksi. Tarkasteltaessa liike-energioita tullaan jatkossa huomioimaan tarkemmin, koska korkean liike-energian vaatinut ohjaus on tehty, millaisesta erottimesta on kysymys, minkä ikäinen erotin on ja miten usein sitä on ohjattu. Lisäksi tutkitaan korkean liike-energian vaatinutta ohjausta aiempien ja sen jälkeisten ohjausten liike-energioita ja niiden perusteella pyritään päättämään, vaatiiko erotin huoltoa. Näin ollen erottimille ei tulla asettamaan tiettyä liike-energiarajaa, vaan muutetaan sitä erotinkohtaisesti tarpeen mukaan huoltoja tilattaessa. Huoltoja tilattaessa tulkitaan muutenkin vahvemmin erotinkohtaisia eroavaisuuksia, jotta välttyttäisiin turhien huoltojen tekemiseltä, mutta toisaalta saataisiin kaikki tarvittavat erottimet huollettua. Huoltotarpeen tulkinnessa tarkastellaan liike-energian kehittymistä. Mikäli kyse on

yksittäisestä korkean liike-energian vaatineesta ohjauksesta, mutta muutoin liike-energiat ovat matalalla tasolla, voidaan erottimelle sallia korkeampi liike-energia kuin tilanteessa, jossa liike-energia on selkeästi vähitellen kasvanut kohti korkeaa arvoa. Tarkempi tulkinta on mahdollista, koska tarkastelu tehdään useammin, jolloin huollettavia erottimia on kerralla vähemmän.

Lisäksi suurimmalle osalle kauko-ohjattavista erotinasemista voidaan tehdä akustotesti, jolla saadaan selville asemien akustoiden tila. Akustotestin tekemällä saadaan hankittua tietoa siitä, minkä verran akusto on menettänyt kapasiteettiaan. Akustotestit ovat hyvä keino akustojen kunnon seurantaan, mutta akustotestien tekemisessä on joitakin rajoituksia. Akustotestit purkavat akut, joten testien ajamisen jälkeen on hetki, jolloin asemien akustot ovat tyhjä. Lisäksi akustotestien aikaan erottimilla on ohjausestot päällä. Tämä estää automaattisen vianrajaustyökalun (FLIR) käytön ja lisäksi käytönvalvojien on akustotestien aikana otettava ohjausesto hetkellisesti pois päältä ja ohjauksien jälkeen asetettava ohjausesto takaisin päälle ja testi jatkumaan. Näistä johtuen akustotestien tekemisellä on suora seuraus verkon käyttötoiminnalle, joten testien tekeminen pitää ajoittaa sellaiseen aikaan, jolloin siitä on mahdollisimman vähän haittaa käyttötoiminnalle. Esimerkiksi arkipäivät toimistoaikana, jolloin maastossa tehdään paljon huolto- ja rakentamistöitä, joissa tarvitaan erottimia, ja myrskyt ovat tästä syystä poissuljettuja. Lisäksi käyttötoiminnalle aiheutuva akustotestien aikainen haitta aiheuttaa sen, ettei akustotestejä voida tehdä kovinkaan montaa kertaa vuodessa. Lisäksi akustotestien suorittamisella voi olla negatiivisia vaikutuksia akustojen toiminnalle, joten jatkossakin akustotestit tullessaan suorittamaan kerran vuodessa.

Lisäksi kauko-ohjattaville erotinasemille on tulossa saataville tarkempaa tietoa tietoliikenneyhteyksistä. Tällä hetkellä on mahdollista saada tietoa erotinaseman tietoliikenneyhteyden toiminnasta tarkkuudella, joka kertoo, onko yhteys toiminnassa vai ei. Tällä tiedolla pystytään hieman ennakoimaan erottimen toiminnan lopettaneen vikaantumisen syytä jo ennen paikalle menemistä ja tällä tavoin tukea urakoitsijakumppania tiedolla jo työtilausta tehtäessä.

6.2 Tarkastukset

Erottimien tarkastusten osalta jatketaan nykyisen toimintamallin mukaisesti. Ilmajohtoverkon erottimet tarkastetaan kerran neljässä vuodessa ilmakuviin perustuvina tarkastuksina ja rakenteella suojatut erottimet tarkastetaan kerran kuudessa vuodessa. Tämä tarkastus on ainoastaan silmämääräinen, joten se ei sisällä erottimien ohjausta. Erottimille ei ole syytä tihentää tarkastusväliä, sillä esimerkiksi vuosittaisiin tarkastuksiin siirtyminen nostaisi tarkastuskustannuksia huomattavasti, mutta siltäkään ei huomattaisi riittävän nopeasti vikoja ja muutoksia, jotka kehittyvät nopeasti. Rakenteella suojattujen erottimien kohdalla pohdittiin, olisiko syytä tarkastaa useammin SF₆-kaasueristeisiä muuntamokojeistoja, mutta niidenkin osalta todettiin, ettei tarkastussykliä ole mahdollista saada kustannustehokkaasti riittävän tiheäksi. Tämä johtuu siitä, että kaasut voivat

purkautua kojeistosta hyvinkin nopeasti, joten kerran vuodessa tehtävilläkin tarkastuksilla voisi syntyä tilanteita, jossa kaasut purkautuvat tarkastuksen jälkeen hyvin pian ja kojeisto on kaasuttomana hyvin pitkään. Tulevaisuudessa kannattavampaa olisi soveltaa kaasun paineen valvontaan sensorointia, jolla saataisiin hälytys vuotaneista kaasuista.

Rakenteella suojattujen muuntamoiden tarkastuksilta tulevat havainnot otetaan jatkossa tarkempaan seurantaan. Tarkastusten havainnot dokumentoidaan verkkotietojärjestelmään ja kriittisistä havainnoista ilmoitetaan Elenialle. Verkkotietojärjestelmään dokumentoituja tarkastustuloksia ei toistaiseksi ole seurattu vuoden mittaan, vaan kerran vuodessa on edellisen vuoden tarkastustulosten perusteella tilattu tarkastuksissa havaituille vioille korjaukset. Jatkossa tarkastuksilta tulevia havaintoja seurataan vuoden mittaan tarkemmin, jotta päästäisiin nopeammin reagoimaan havaintoihin, jotka voivat enustaa laitteen vikaantumista.

6.3 Korjaava kunnossapito

Erottimien vikaannuttua korjaavaa kunnossapitoa pyritään viilaamaan tarkoituksenmukaisemmaksi. Korjaavaan kunnossapitoon liittyen luodaan tarkempaa ohjeistusta, millaista tietoa vikaantumisesta olisi hyvä saada kunnossapitotoimenpiteiden pohtimisen tueksi. Lisäksi kootaan toimintaohje, joka sisältää yleisimmät erottimien vikatilanteet ja niihin Elenialla tehtävät toimenpiteet ja tilattavat työyksiköt. Tämän on tarkoitus suoraan viivaistaa ja helpottaa prosessia erotinvikojen korjaamiseksi. Kaikki mahdolliset tilanteet kattavaa opasta ei toimintaohjeesta ole mahdollista tehdä, vaan joitakin vikoja joudutaan edelleen hoitamaan ja tutkimaan tapauskohtaisesti.

Korjaavan kunnossapidon osalta selvitetään ja dokumentoidaan kriteeristöä, jonka perusteella voidaan tarkastella, onko erotinta ylipäättään syytä korjata vai ovatko verkossa tapahtuneet muutokset, esimerkiksi maakaapelointi-investoinnit, muuttaneet verkon rakennetta siten, ettei erottimen korjaaminen kannata. Esimerkiksi erotin on voinut olla maakaapeloidun- ja ilmajohtoverkon rajakohdassa ja mahdollistaa ilmajohtoverkon erottamisen maakaapeliverkosta. Myöhemmin kuitenkin voi olla, että kyseinen ilmajohto-osuus on maakaapeloitu, jolloin erottimen merkitys on pienentynyt huomattavasti. Tällöin ei välttämättä ole kannattavaa sijoittaa suuria summia erottimen saattamiseksi toimintakuntoon ja esimerkiksi korjauskelvottomaksi vaurioituneen erottimen uusiminen voi joissakin tapauksissa olla niin kallista suhteessa siitä saatuun hyötyyn, ettei se kannata.

Korjaavaa kunnossapitoa suoritettaessa huomioidaan tilausvaiheessa, millaisesta laitteesta on kysymys ja sen perusteella pohditaan mahdollisia vianaiheuttajia ja kunnossapitotoimenpiteitä. Erityisesti tilanteissa, joissa erottimen luona ei ole käyty vikatilanteeseen liittyen, voi erottimen tyyppi tarjota lisätietoa erottimen vikaantumiseen liittyen. Esimerkiksi huoltovapaalle SF₆-eristeiselle erottimelle ei kannata tilata perushuoltoa, jolla sen liikkuvat osat puhdistetaan, rasvataan ja säädetään, sillä käytännössä kaikki

liikkuvat osat ovat suljetun kaasusäiliön sisällä. Ilmaeristeisen rakenteella suojatun erottimen tapauksessa taas tilanne voi olla toinen. Erotintyypeistä tullaan tekemään perustietoja sisältävä listaus, joka helpottaa huoltotarpeen tulkintaa.

6.4 Taloudellinen tarkastelu

Kunnossapito-ohjelmaan tehdyillä muutoksilla on taloudellisia vaikutuksia Elenialle. Tarkasteltaessa erottimien ohjauksen liike-energiat jatkossa kvartaaleittain ja toteuttamalla jatkossa tarkastelu aiempaa tarkemmin saadaan karsittua turhien huoltojen tilaamista. Lisäksi kun liike-energian raja-arvoa muutetaan erotintyyppien mukaan, voidaan huoltoja tilatessa joillekin erotintyypeille hyväksyä korkeampikin raja-arvo. Joissakin tapauksissa joudutaan vastaavasti käyttämään aiempaa alhaisempaa raja-arvoa liike-energialle huoltoa tilattaessa. Jatkossakin huolletaan kaikki erotinaseman erottimet kerralla, sillä erotinhuoltoa varten täytyy tehdä muitakin toimenpiteitä, kuten suunnitella kytkentäohjelma, mahdollisesti avata ja sulkea jännitetyökatkopaikkoja ja urakoitsijakumppanin täytyy ajaa erotinaseman luokse työtä suorittamaan. Huoltamalla kaikki aseman erottimet kerralla saadaan huollot suoritettua kustannustehokkaimmin. Akustotestit suoritetaan jatkossakin kerran vuodessa. Testien tarkemmalla analysoinnilla on tarkoitus saada vältettyä akkujen ennen aikaista vaihtamista uusiin ja saada vaihdettua toimintakuntoaan menettäneet akustot ajoissa uusiin. Lisäksi viidennessä kappaleessa todettiin, että akustojen vaihdoilla on saatu hyvin ehkäistyä akustojen vaihtoja tarveperusteisena kunnossapitona. Ennakoivan kunnossapidon osalta ei siis varsinaisesti pyritä muuttamaan kunnossapitotilausten määrää ja sillä tavoin pienentämään kustannuksia, vaan tavoitteena on ohjata kunnossapitoon käytettävät varat paremmin.

Ennakoivan kunnossapidon osalta useammin ja enemmän analysoiden tehtävän tarkastelun tavoitteena on karsia turhien huoltojen tilaamista sekä vähentää erottimien vikaantumisia. Tavoitteena on, että huollot tehtäisiin järkevästi kohdentaen, jolloin saataisiin vähennettyä tarveperusteisen kunnossapidon käyttöä. Tässä on potentiaalia selvään kustannussäästöön päivitetyn kunnossapito-ohjelman myötä. Erityisesti keskeytyksen aiheuttavien erotinvikojen vähenemisellä pystytään huomattavasti pienentämään KAH-kustannuksia ja parantamaan asiakastytyvääisyyttä katkojen vähentyessä. Myös erotinvioilla, joista ei suoranaisesti aiheudu sähkönjakelun keskeytystä, voi olla huomattavia vaikutuksia KAH-kustannuksiin. Yleensä tarveperusteisen kunnossapidon tapauksessa tarve kunnossapidolle huomataan, kun erotin ei ole kyennyt suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Tällainen tapaus voi olla esimerkiksi keskijänniteverkon vikatilanne, jossa oltaisiin haluttu rajata vika-aluetta pienemmäksi erottimia ohjaamalla, mutta erottimen vian vuoksi tämä ei ole ollut mahdollista. Tällaisessa tilanteessa vika-alue on vian korjaamiseen saakka laajempi kuin mitä verkon rakenne mahdollistaisi, joten aiheutuu turhia KAH-kustannuksia. Vika voi tulla ilmi myös suunniteltua verkon huolto-työtä suoritettaessa, jolloin koko työ voidaan joutua perumaan ja siirtämään suoritettavaksi toiseen ajankohtaan, kun suunniteltua keskijänniteverkon keskeytystä ei voida to-

teuttaa. Toimimaton erotin on verkossa hyödytön, jolloin sitä ei voida käyttää vika- ja huoltotilanteissa keskeytysalueen rajaamiseen. Täten ennakoivan kunnossapidon tehostamisella suurin säästöpotentiaali muodostuu erottimien varmemmasta toiminnasta, jolloin niitä voidaan käyttää KAH-kustannusten välttämiseen sen mukaisesti kuin ne on verkkoon suunniteltu. Lisäksi, mikäli ennakoivalla kunnossapidolla onnistutaan karsimaan tarveperusteisen kunnossapidon tilausmääriä, aiheutuu myös siten kustannussäästöjä. Työaikaa akustotestien ja ohjausenergioiden analyysihin ja työtilausten tekemiseen voidaan arvioida kuluvan noin viisinkertaisesti aiempaan nähden. Tämä johtuu siitä, että liike-energioiden osalta tarkastelu tehdään neljä kertaa useammin aikaisempaan tilanteeseen verrattuna ja akustotestit kaksi kertaa useammin aikaisempaan verrattuna. Lisäksi tarkastelussa liike-energia-arvoja ja akustotestien tuloksia analysoidaan aiempaa tarkemmin. Tarkasteluista kuitenkin muodostuu aiempaa enemmän rutiinitoimintaa, jonka pitäisi helpottaa ja nopeuttaa tilaajan työtä. Lisäksi kaikkia tilausprosessia varten tarvittavia lähdetietoja ei välttämättä tarvitse hankkia joka kerran tilauksia tehtäessä ja tilauksia varten luotavat projektit ja suunnitelmat tarvitsee luoda jatkossakin ainoastaan kerran vuodessa, joka edelleen nopeuttaa yksittäisen tilauksen tekemiseen kuluva aikaa.

Luomalla erottimien ennakoivaan ja tarveperusteiseen kunnossapitoon selkeitä toimintaohjeita ja käytäntöjä pyritään tehostamaan erotinkunnossapitoa. Ennakoivan kunnossapidon osalta pyritään, että ennakoivan kunnossapidon vaatima datan analysointi ja työtilausten tekeminen saataisiin helpommaksi ja nopeammaksi. Kokoamalla ohjeistusta sekä tietopankkia erotintyyppien kunnossapidon näkökulmasta merkittävimmistä asioista tarveperusteista kunnossapitoa varten on tavoitteena, että tietyt perustapaukset vaatisivat vähemmän selvitystyötä kunnossapitoa tilattaessa. Tavoitteena on, että keskeisimmät tarvittavat tiedot olisivat helpommin löydettävissä, eivätkä vaatisi raskasta selvitystyötä. Tavoitteena on myös, että vian tultua ilmi, kerättäisiin saatavissa olevat tarvittavat tiedot kunnossapidon tilaamista varten mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta olisi helpompaa edetä prosessissa. Näillä ennakoivaan ja tarveperusteiseen kunnossapitoon liittyvillä ohjeistuksilla tavoitellaan työaikasäästöä tilausvaiheessa, mutta tavoitteena on myös kattavampien tietojen turvin pystyä palvelemaan urakoitsijakumppania kattavammalla tiedolla viasta sekä pystyä tilaamaan työt alusta alkaen oikeaa työyksikköä käyttäen.

Esimerkkinä voidaan tarkastella akuston vikaantumisen aiheuttamia KAH-kustannuksia tapauksessa, jossa kauko-ohjattavaa erotinta ei saada ohjattua valvomosta käsin akuston huonon kunnon takia. Ajatellaan esimerkkitilanteessa, että erottimen ohjaamiseen ja siten vika-alueen rajaamiseen kuluu tunti enemmän aikaa, kun ohjaus vaatii käynnin erottimen luona verrattuna valvomosta toteutettuun kauko-ohjaukseen. Täten osalle lähdön asiakkaista keskeytys on tunnin pidempi kuin erottimen toimiessa kauko-ohjauksella. Taajamalähdöllä mikäli noin kolmannes lähdön asiakkaista kokisi pidemmän keskeytyksen erottimen toimimattomuuden vuoksi, olisi kyseisen erottimen toimimattomuuden

aiheuttama KAH-kustannuksen kasvu riittänyt kustannusten osalta noin 25 akuston vaihtoon. Täten on selvää, että akustoja kannattaa pyrkiä vaihtamaan ennen kuin ne ehdivät aiheuttamaan erottimen sähköisten ohjausten toiminnan loppumisen.

Kokonaisuudessaan ohjelmalla on tarkoitus ohjata kunnossapitoa entistä enemmän ennakoiwaan suuntaan. Tällä tavoin työt voidaan suunnitella paremmin, jolloin niiden suorittamista voidaan optimoida liittämällä esimerkiksi toisten samalla suunnalla suoritettavien töiden lomaan. Paremman suunnittelun lisäksi vikojen paremmalla ennakkoinnilla pystytään pienentämään KAH-kustannuksia huomattavasti. Lisäksi tarkoituksena on, että ennakoivan kunnossapidon tarkemmalla analysoinnilla saataisiin kohdistettua kunnossapitoon käytetyt rahat paremmin, jolloin oletuksena on, ettei työtilausten kokonaismäärä kasva kestäättömän paljoa. Ajallisesti ennakoivan kunnossapidon suorittamiseen sisältäen datan analysoinnin ja työtilausten tekemisen kuluu enemmän työaikaa ja siltä osin kustannusten voidaan katsoa kasvavan. Kokonaisuudessaan ohjelmalla kuitenkin pitäisi saavuttaa merkittäviä kustannushyötyjä.

6.5 Jatkokehittävää

Jatkossa olisi hyvä kiinnittää huomiota dokumentaatioon ja sen oikeellisuuteen. Työtä varten tutkittaessa laitekantaa ja huoltodataa huomattiin, että dokumentaatio on paikoin puutteellista. Tämä näkyi haasteena tietojen analysoinnissa, mutta se myös osittain rajoittaa laitteiden tyyppit ja iät huomioivan kunnossapito-ohjelman hyödyntämistä. Mikäli esimerkiksi erottimen valmistaja ja tyyppi eivät ole tiedossa, ei sen kunnossapidossa voida hyödyntää valmistajan ohjeistusta. Suurimmat ongelmat dokumentaatiossa ovat toki iäkkäissä komponenteissa. Jatkossa tilattaessa urakoitsijakumppanilta erottimelle kunnossapitotyö, urakoitsijaa pyydetään täydentämään verkkotietojärjestelmään tiedot erottimen valmistajasta ja tyyppistä, mikäli ne vain ovat maastossa selvitettävissä. Lisäksi myös erottimien automaatiosta olisi syytä dokumentoida keskeisimmät tiedot, jotta kunnossapitotöihin voitaisiin paremmin valmistautua. Automaation dokumentaation toteuttamista selvitetään tulevaisuudessa tarkemmin.

Kauko-ohjattavien erotinasemien akustojen osalta tutkitaan, kannattaisiko erotinasemien akustojen tyyppiä vaihtaa. Akustot koostuvat tällä hetkellä pääosin lyijyakuista, jotka ovat melko edullisia. Kuitenkin luvussa viisi huomattiin, että akustoja on viime vuosina jouduttu vaihtamaan melko runsaasti erityisesti pylväserotinasemille. On hyvä tutkia, kannattaisiko lyijyakkujen tilalla käyttää hieman kalliimpia akkuja, jotka vastaavasti kestäisivät pidempään. Akustojen tyyppin lisäksi tulevaisuudessa selvitetään nyt käytössä olevan akustotestin lisäksi muita mahdollisia keinoja akustojen kunnon seurantaan.

Lisäksi on tärkeää seurata ohjelman toimivuutta ja tarvittaessa säätää sitä tarpeen mukaan. Ohjelmasta saadaan jatkuvasti kokemusta ja uutta dataa, jonka avulla pystytään arvioimaan, onko tilanne erottimien kunnossapidon suhteen parantunut riittävästi ja onko se ylipäättään parantunut. Erityisesti on seurattava, että liike-energian perusteella ero-

tinhuoltoja tilattaessa liike-energioiden tulkinta tehdään järkevästi. Lisäksi seurataan, onko kvartaaleittainen tarkastelu liike-energioiden tarkasteluun sopiva sykli. Tarvittaessa tarkastelua voidaan tehdä useammin, mikäli kvartaaleittainen tarkastelu ei mahdollista kunnossapidon riittävää ennakoivuutta.

7. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää erottimien ja erotinautomaation kunnossapitoa Elenian keskijänniteverkossa. Kehittämistyötä varten tutkittiin liiketoimintaympäristöä, joissa sähköverkkoyhtiöt toimivat, tekemällä katsaus sähköverkkoihin ja sähköverkkoliiketoimintaan sekä lainsäädännön ja viranomaisvalvonnan asettamiin vaatimuksiin. Lisäksi perehdyttiin kunnossapidon teoriaan yleisesti. Näin saatiin vakaa pohja kunnossapito-ohjelman muodostamista varten.

Kehittämisen pohjaksi tehtiin kattava tutkimus toistaiseksi käytössä olleesta erottimien ja erotinautomaation kunnossapitoprosessista. Tutkimuksesta selvisi, ettei erottimen iällä ole suurta vaikutusta vikaantumistaajuuteen. Eri-ikäisten erottimien vikaantumista tutkittaessa ei havaittu selkeää ikäriippuvuutta vikaantumistaajuudessa. Sen sijaan tutkittaessa erottimen ohjauskertojen vaikutusta vikaantumistaajuuteen pystyttiin havaitsemaan ohjauskertojen lisäävän vikaantumistaajuutta jossakin määrin. Tämä havaittiin vikatöinä hoidetussa tarveperusteisessa kunnossapidossa erityisesti ohjauskertojen kasvettua yli 150. Kunnossapitotöinä hoidetussa tarveperusteisessa kunnossapidossa ohjauskertojen vaikutus vikaantumistaajuuteen oli selkeintä alle sadan ohjauskerran erottimilla, joskin sen jälkeenkin ohjauskertojen kasvaessa oli hienoa kasvua vikaantumistaajuudessa. Liike-energian mittauksen perusteella tilatuissa erotinhuolloissa erottimien ohjauskertojen ja erotinasemien akuston vaihdoissa erotinaseman kaikkien erottimien yhteenlaskettujen ohjauskertojen kasvu vaikutti kasvattavan vikaantumistaajuutta melko tasaisesti. Suurin osa erottimien vioista oli tutkimuksen perusteella liittynyt erottimien ohjattavuuteen. Lisäksi eri laitetyyppien välillä löydettiin jonkin verran eroavaisuuksia.

Työn perusteella päätettiin jatkossa suorittaa erottimien ohjauksien liike-energioiden tarkastelu kvartaaleittain. Tämä pienentää erottimien ennakoivan kunnossapidon läpimenoajan neljännekseen aiemmasta, mutta toisaalta tarkastelua tehtäessä erottimia on edellisen tarkastelun jälkeen ohjattu jo niin paljon, että niistä pystytään luotettavasti pääättelemään huoltotarpeita. Akustotestit suoritetaan jatkossakin kerran vuodessa. Ennakoivasta kunnossapidosta tehdään työohjeet, jotta sen toteuttaminen ei olisi henkilösidonnaista. Tarveperusteisen kunnossapidon osalta luodaan toimintaohjeistus, joka kattaa keskeisimmät periaatteet sen toteuttamiseen. Tämän tarkoituksena on suoraviivaistaa ja sujuvoittaa korjaavan kunnossapidon toteuttamista. Jatkokehityskohteiksi jäävät dokumentaation parantaminen erityisesti erotinautomaation osalta. Lisäksi tarkastellaan, olisiko syytä korvata erotinasemien akustot nykyisiä paremmilla, vaikka ne kalliimpia olisivatkin. Lisäksi ohjelman toimivuutta seurataan ja tarvittaessa siihen tehdään muutoksia.

LÄHTEET

- [1] Elenia Oy yhtiöesitys 2017, Elenia Oy, 2017
- [2] E. Lakervi, J. Partanen, Sähkönjakelutekniikka, Gaudeamus Helsinki University Press, 2009
- [3] J. Elovaara, L. Haarla, Sähköverkot II, Otatieto, 2011
- [4] Mikä on älykäs sähköverkko?, ABB, 2016, [Viitattu 22.8.2017], Saatavissa: <http://new.abb.com/fi/alykas-sahkoverkko/mik%C3%A4-on-alykas-sahk%C3%B6verkko>
- [5] Lainsäädäntö ja viranomaisvalvonta, Energiateollisuus ry, 2017, [Viitattu: 20.6.2017], Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot/lainsaadanto_ja_viranomaisvalvonta
- [6] L 9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki
- [7] Hyvitykset ja korvaukset, Elenia Oy, 2017, [Viitattu: 22.8.2017], Saatavissa: <http://www.elenia.fi/sahko/korvaukset>
- [8] Sähkön jakeluverkkotoiminta ja sähkön suurjännitteinen jakeluverkkotoiminta – Liite 2 Valvontamenetelmät, Energiavirasto, 2015, [Viitattu 20.6.2017], Saatavissa: https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Liite_2_Valvontamenetelm%C3%A4t_S%C3%A4hk%C3%B6njakelu.pdf/c48d64d7-4364-4aa1-a91b-9e1cfl167936
- [9] Energiavirasto sähkö- ja maakaasumarkkinoilla, Energiavirasto, 2017, [Viitattu 20.6.2017], Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/energiavirasto-sahko-ja-maakaasumarkkinoilla>
- [10] Sähkön siirron hinnoittelu, Energiateollisuus ry, 2017, [Viitattu 20.6.2017], Saatavissa: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkonsiirron_hinnoittelu.html#material-view
- [11] Sähköverkkoyhtiöt, Energiateollisuus ry, 2017, [Viitattu: 20.6.2017], Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiöt

- [12] Hyvitykset ja korvaukset, Elenia Oy, 2017, [Viitattu 27.6.2017], Saatavissa: <http://www.elenia.fi/sahko/korvaukset>
- [13] Vuosikertomus 2016, Elenia Oy, 2017, [Viitattu 23.8.2017], Saatavissa: <http://www.elenia.com/sites/Inicom/files/attachments/Elenia-konsernin%20vuosikertomus%202016.pdf>
- [14] Elenia ja yhteiskunta, Elenia Oy, 2017, [Viitattu 23.8.2017], Saatavissa: <http://www.elenia.com/fi/vastuullisuus/elenia-ja-yhteiskunta>
- [15] K. Kobbacy, P. Murthy, Complex System Maintenance Handbook, Springer London, 2008
- [16] J. Järviö, Kunnossapito, KP Media, 2007
- [17] L 1.1.2017/1135 Sähköturvallisuuslaki.
- [18] L 1.9.1996/517 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käytönotosta ja käytöstä
- [19] A. L. Brodersson, J. H. Jürgensen, P. Hilbert, Towards Health Assessment: Failure Analysis and Recommendation of Condition Monitoring Techniques for Large Disconnecter Populations, IET, 2016, [Viitattu 21.8.2018], Saatavissa: http://www.cired.net/publications/workshop2016/pdfs/CIRED2016_0351_final.pdf
- [20] CIGRE Working Group A3.06, “Final report of the 2004 - 2007 international enquiry on reliability of high voltage equipment, part 1 summary and general matters,” , CIGRE, 2012
- [21] Verkon rakennustavan valinta ja rakenteiden sijoitus, Elenia Oy, 2015
- [22] Suomalaiset juuret: Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889, ABB Oy, 2017, [Viitattu 20.10.2017], Saatavissa <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>